

CONEXIONES EN ESTRUCTURAS DE GUADUA:
UNA REVISIÓN DE LITERATURA.

JOSE ALBERTO GONZÁLEZ PÉREZ
YESENIA ANGIE KATALINA SAMUDIO VANEGAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C
2020

CONEXIONES EN ESTRUCTURAS DE GUADUA:
UNA REVISIÓN DE LITERATURA.

JOSE ALBERTO GONZÁLEZ PÉREZ 505741
YESENIA ANGIE KATALINA SAMUDIO VANEGAS 507180

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

Director
OSCAR CONTRERAS BEJARANO IC, MIC

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C
2021



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

BOGOTÁ D.C 25 JULIO 2021

Resumen

La guadua, hoy en día a nivel mundial es un material que se está implementando de manera frecuente en la ingeniería civil y va de la mano con la estrategia de desarrollo sostenible por ser un recurso natural. Para las estructuras en las que se aplica este material, las juntas son la clave para asegurar la transferencia de carga estructural. Debido a las propiedades que esta ofrece para ser empleada en las estructuras, la conexión en las estructuras de guadua, en bruto siempre ha sido una gran dificultad y problema en la aplicación de la guadua, lo que obstaculiza seriamente el desarrollo de estructuras originales con este recurso natural.

Con el fin de promover el uso de la guadua en la ingeniería civil, en este documento se describen diferentes diseños de conexiones tradicionales en estructuras de guadua con las ventajas y desventajas de cada metodo o diseño analizado. Además, se describe el progreso de la metodología en la investigación de cada uno de los diseños de conexión para estructuras en guadua, en las que se identifican, conexión de pernos, conexión de miembros de acero, conexión reforzada con relleno y otros tipos de conexiones.

Dedicación

Dedicamos este trabajo de investigación (o trabajo de grado) primeramente a Dios porque siempre nos ha acompañado y nos ha guiado, a nuestros padres que han estado con nosotros en todo momento dándonos fortalezas para continuar y porque a lo largo de nuestras vidas han velado por nuestro bienestar y educación, a nuestros amigos y familiares, quienes siempre nos han apoyado, nos han brindado una voz de aliento en este proceso de aprendizaje y por sus buenos deseos.

Agradecimientos

Los resultados de este trabajo merecen un profundo agradecimiento a todas esas personas que de alguna u otra forma estuvieron al lado de nosotros dándonos una ayuda para permitir hacer realidad lo que un día nos propusimos. Nuestros agradecimientos principalmente van dirigido a nuestros padres porque siempre creyeron ciegamente en nosotros, por ese apoyo día a día y porque siempre nos brindaron su entera confianza, a nuestros profesores que siempre nos impartieron sus conocimientos y experiencias para formarnos como profesional, al ingeniero Oscar Contreras que fue nuestro tutor de tesis, quien nos tuvo la paciencia, creyó en nuestras capacidades y supo orientarnos para culminar con éxitos esta investigación.

Índice general

1. Introducción	10
2. Antecedentes	12
2.1. Guadua Angustifolia Kunth	13
2.2. Uniones	17
2.3. Justificación	19
3. Planteamiento y formulación del problema	21
4. Marco de referencia	22
4.1. Marco teórico	22
4.2. Marco conceptual	42
4.3. Marco normativo	43
5. Estado del arte	44
6. Objetivos	54
6.1. Objetivo general	54
6.2. Objetivos específicos	54
7. Alcances y limitaciones	55
7.1. Alcances	55
7.2. Limitaciones	55
8. Metodología	56
9. Fuentes de Información	59
9.1. Dialnet	59
9.2. ScienceDirect	60
9.3. Taylor & Francis	61
10. Análisis de la Información	62
10.1. Palabras Clave	62
10.2. VOSviewer	63
11. Discusión sobre conexiones en Guadua	66
12. Conclusiones y recomendaciones	86

Índice de figuras

2.1. Continentes en donde se produce la guadua angustifolia Kunth	13
2.2. Plano de zonas aptas para el cultivo de bambú en el mundo	14
2.3. Pared del culmo de guadua Angustifolia	15
4.1. Tipos de cortes para guadua angustifolia	23
4.2. Cortes de guadua más utilizados	23
4.3. Uniones empernadas	23
4.4. Unión perpendicular	24
4.5. Uniones de dos piezas	24
4.6. Uniones móviles	24
4.7. Uniones entre columnas y vigas	25
4.8. Uniones entre elementos horizontales y verticales a tope	25
4.9. Uniones entre elementos horizontales y verticales a tope	26
4.10. Uniones entre elementos horizontales y verticales a tope	26
4.11. Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados	26
4.12. Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados	26
4.13. Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados	27
4.14. Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados	27
4.15. Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados	27
4.16. Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados	28
4.17. Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados	28
4.18. Uniones con piezas flexionadas	28
4.19. Uniones con piezas flexionadas	29
4.20. Uniones tipo simón Vélez	29
4.21. Unión tipo Sandra Clavijo	30
4.22. Unión Tipo 1 Jaramillo D. y Sanclemente G.	31
4.23. Unión tipo 2	32
4.24. Junta atornillada	36
4.25. Formas simples de junta atornillada	37
4.26. Formas simples de junta atornillada	38

4.27. Unión atornillada con gancho [1]	38
4.28. Junta de miembro de acero	39
4.29. Tubería de acero en forma de T	39
4.30. Forma común de junta de elementos de acero	40
4.31. Jaula de metal multicapa	40
4.32. Método de unión de Moran	41
4.33. Junta de placa de acero	42
5.1. Unión articulada	45
5.2. Conexión columna a cimentación	46
5.3. Prototipo conexión	46
5.4. Conexión flexible	47
5.5. Figura 6. conexiones de madera con pasadores y placas ranuradas de compuesto de bambú	47
5.6. Conexiones de madera con pasadores y placas ranuradas de compuesto de bambú	48
5.7. Unión entre barras de acero y Bamboo Scrimber	49
5.8. Método de unión Zhou	51
5.9. Método de unión de Huang	51
5.10. Figura 10 Junta rellena con yeso y tiras de bambú	53
8.1. Flujograma	58
10.1. Mapa de países con mayor número de citación	64
10.2. Mapa de autores con mayor número de citación	64
10.3. Mapa de palabras con mayor número de citación	65
10.4. Mapa de autores con mayor número de citación cronológica	65
11.1. Montaje prueba de carga	69
11.2. Uniones en polímero fundido	70
11.3. Grafica de carga unión recta	70
11.4. Grafica de carga unión en Y	71
11.5. Grafica de carga unión en Y	71
11.6. Unión tallo clavija	72
11.7. Conexión empernada	73
11.8. Modelos de conexiones de momentos	74
11.9. Desarrollo del método de conexión	75
11.10 Cercha analizada	77
11.11 Conexión lamina de guadua atornillada	77
11.12 Conexión y armadura compuesta	78
11.13 Unión atornillada en cercha	79
11.14 Unión atornillada	80
11.15 Conexiones con clavijas en bambú laminado y madera	82
11.16 Unión atornillada tipo T	83
11.17 Unión en ángulo	83
11.18 Junta amarre	84
11.19 Unión de placa de acero	85

Índice de cuadros

2.1. Resistencia a la compresion paralela a la fibra 2	16
2.2. Clasificación de propiedades de la guadua según la edad 3	19
4.1. Marco normativo	43
8.1. Fases de diseño metodológico	57
10.1. Resistencia a la compresion paralela a la fibra 2	63
11.1. Descripción de conexiones	69

GLOSARIO

Flexión: Es el esfuerzo resultante de aplicar fuerzas perpendicularmente al eje principal del elemento que tienden a doblarlo. La flexión produce compresión en la parte cóncava del elemento y tracción en la opuesta, la convexa.

Esfuerzo: Los esfuerzos son el conjunto de fuerzas internas a las que está sometido un cuerpo a consecuencia de las sollicitaciones o acciones que actúan sobre él. Estas fuerzas internas son el resultado de la interacción de unas partículas del cuerpo sobre las otras.

Compresión: Presión a que está sometido un cuerpo por la acción de fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen

Tracción: Un elemento trabaja a tracción, o está sometido a un esfuerzo de tracción cuando fuerzas con la misma dirección y de sentidos contrarios tienden a estirarlo.

Culmo: El culmo originalmente se refiere a un falso tallo de cualquier tipo de planta. Deriva de la raíz latina culmus, y específicamente se refiere a tallo encima de la tierra o área de pasto y ciperáceas.

Conexión: Una conexión (del latín connexio) es un enlace o una atadura que une una cosa con otra. El termino nombra a la acción y efecto de conectar (unir, enlazar, establecer relaciones).

RAE No.

TITULO: CONEXIONES EN ESTRUCTURAS DE GUADUA: UNA REVISIÓN DE LITERATURA

AUTOR (ES): GONZÁLEZ PERE JOSE ALBERTO

SAMUDIO VANEGAS YESENIA ANGIE KATALINA

ALTERNATIVA: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PÁGINAS: 91

TABLAS: 6

FIGURAS: 70

CONTENIDO:

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

MARCO DE REFERENCIA

ESTADO DEL ARTE

OBJETIVOS

ALCANCES Y LIMITACIONES

METODOLOGÍA

FUENTES DE INFORMACIÓN

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

DISCUSIÓN SOBRE CONEXIONES EN GUADUA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

PALABRAS CLAVES:

INVESTIGACIÓN, ANÁLISIS, CONEXIONES, GUADUA, ESTRUCTURA, UNIÓN, BAMBÚ.

DESCRIPCIÓN: TRABAJO DE GRADO ENFOCADO EN LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS, CON CONTENIDOS ÚNICAMENTE SOBRE LOS DIFERENTES DISEÑOS DE CONEXIONES EN GUADUA, EN CUANTO SUS COMPORTAMIENTOS MECÁNICOS, TRATAMIENTO DEL MATERIAL (GUADUA) Y METODOLOGÍA DE FABRICACIÓN, PARA UNA ADECUADA RECOMENDACIÓN DE SU USO EN LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS QUE ESTAS SEAN DETERMINADAS IMPLEMENTAR.

METODOLOGÍA: SE PLANTEÓ UNA ECUACIÓN DE BÚSQUEDA DONDE SE DETERMINARON TRES BASES DE DATOS IMPORTANTES EN LA INGENIERÍA CIVIL, PARA A PARTIR DE AQUÍ, SELECCIONAR Y ANALIZAR LOS

DIFERENTES ARTÍCULOS ENCONTRADOS SOBRE ESTUDIOS DE CONEXIONES EN GUADUA, MEDIANTE DE UN SOFTWARE SE FILTRA Y SE DETERMINARON PARÁMETROS COMO LOS PAÍSES QUE MAS ESTÁN ANALIZANDO LAS CONEXIONES EN GUADUA, AUTORES MAS CITADOS, AÑOS DE PUBLICACIÓN DE LOS DIFERENTES ARTÍCULOS ENTRE OTROS.

CONCLUSIONES: SE DETERMINARON CONEXIONES QUE SON APROPIADAS PARA IMPLEMENTAR EN ESTRUCTURAS DE VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS, CLARAMENTE SE DETERMINA UN RANGO DE EDAD DE LA GUADUA EN LA QUE ESTA BRINDA GRAN RIQUEZA EN CUANTO A SUS PROPIEDADES MECÁNICAS, SE RECOMIENDA TENER EN CUENTA UN ANALISIS PROFUNDO EN CUANTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL (GUADUA) YA QUE ESTE ES UN CRITERIO IMPORTANTE QUE SE DEBE TENER EN CUENTA DEBIDO AL DEBILITAMIENTO QUE ESTE OFRECE EN EL MATERIAL AL SER SOMETIDO ESFUERZOS CONSIDERABLES.

FUENTES:

C. Hong, H. Li, R. Lorenzo, G. Wu, I. Corbi, O. Corbi, Z. Xiong, D. Yang, and H. Zhang, "Review on connections for original bamboo structures," *Journal of Renewable Materials*, vol. 7, no. 8, pp. 714–730, 2019.

C. Takeuchi, "Comportamiento estructural de la guadua angustifolia. Uniones en guadua" *Structural behavior of the guadua angustifolia. Connections in Guadua*, no. 55, pp. 3–7, 2004.

D. Jaramillo and A. Sanclemente, *Estudio de uniones en guadua con inclinación entre elementos*. PhD thesis, 2003.

G. In@ and H. Sousa Weich, "La Guadua Un Sistema Innovador Para La Construcción De Vivienda En Anapoima-Cundinamarca," *Universidad de La Salle*, p. 61, 2008.

J. García, *Definición de áreas optimas de calidad de guadua (guadua angustifolia kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado*. 2004.

Ecohabitar, "La guadua: una maravilla natural de grandes bondades," 2019.

X. Londoño, "El bambú en Colombia," vol. 11, no. 3, pp. 143–154, 2011.

J. Arbelaez and J. Correal, "Influence of age and height position on colombian "Guadua Angustifolia"bamboo mechanical properties," 2010.

Bambusa, "Características del bambu," 2018.

M. C. endales, "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH ORIGINARIA DE ARMENIA QUINDIO," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2018.

- K. Seethalakshmi, "BAMBOOS OF INDIA," 1998.
- B. Felicjaniak and K. Kosińska, "LA GUADUA ANGUSTIFOLIA," *Przegląd Włokienniczy*, vol. 59, no. 12, 2005.
- Elvira DeNavas, "APLICACIONES ESTRUCTURALES DE LA GUADUA (*Guadua angustifolia* Kunth). PROYECTO DE ESTRUCTURA MODULAR MULTIFUNCIONAL EN COLOMBIA," p. 271, 2011.
- X. Londoño, G. C. Camayo, N. Riaño, and Y. L´opez, "Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms," *Bamboo Science and Culture*, vol. 16, no. 1, pp. 18–31, 2002.
- L. Alfredo, C. Moreno, W. Geovany, and H. Rojas, "Caracterización de la *Guadua Angustifolia* Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10 The *Guadua Angustifolia* Kunth Grown in Miraflores (Boyacá)' s Characterization , According to the NSR-10," vol. 21, no. 33, pp. 53–71, 2012.
- P. J. R. Francis E. Brink, "BAMBOO REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION," 1996.
- K. Ghavami, "Ultimate load behaviour of bamboo-reinforced lightweight concrete beams," 1995.
- A. Shigeyasu, I. Yoshinobu, M. Tamotsu, N. Yukito, and Hiroyuki Shimizu, "Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo," 1997.
- Y. Tommy, H.ZCui, and H.CLeung, "The effect of fiber density on strength capacity of bamboo," 2004.
- A. Shigeyasu and U. Sun, "Fracture properties of bamboo," 2001.
- J. Nolivos, ESTUDIO DE CONEXIONES ENTRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CANA GUADUA SOMETIDOS A CARGA AXIAL ~ . PhD thesis, 2010.
- J. V. Garzon caicedo, "Optimización de estructuras en guadua," 1996.
- C. Muños and H. Rodriguez, "Propuestas de uniones mecanicas para estructuras de guadua," 1997.
- S. Clavijo and J. Trujillo, "Evaluación de unones a tracción en guadua," 2000.
- E. Prieto and J. Pineda, "Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexion," 2001.
- J. Martín and L. Mateus, "Determinación de la resistencia a la compresion paralela a la fibra de la guadua," 1981.
- C. Takeuchi, G. Granados, F. Lamus, and J. Lozano, "Metodología de diseño de estructuras en *Guadua Angustifolia* como material estructural por el método de esfuerzos admisibles," *Revista Educación en Ingeniería*, no. August 2008, pp. 66–75, 2011.

Asociación colombiana de ingeniería sísmica (AIS), "Título G-Estructuras de madera y estructuras de guadua. NSR-10," Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, p. 158, 2010.

A. Agudelo and O. Diaz, RESINA POLIÉSTER (RP) Y FIBRAS NATURA- ´ LES EN UNA CONEXIÓN DE GUADUA ANGUSTIFOLIA SOMETIDAS ´ AL APLASTAMIENTO TRANSVERSAL. PhD thesis, 2018.

Sencico (servicio nacional de construcción de estructuras con bambú), "Manual de construcción de estructuras en bambú," 2014.

J. J. A. Janssen, "Technical Report 20: Designing and building with bamboo," 2000.

M. A. d. R. Pereira, "Bambu Project: MecEhanical Characteristics of the Glued Laminated Bamboo," VIII World Bamboo Congress Proceedings, vol. 8, pp. 135–150, 2009.

Dunkelberg.k, "Bamboo as building material," 1985.

D. Farrely, "The Book of Bamboo," San Fransisco: Sierra Club Books., 1984.

J. Janssen, "Building with Bamboo," Warwickshire: ITDG Publishing., 2000.

K. Dis´en and P. L. Clouston, "Building with bamboo: A review of culm connection technology," Journal of Green Building, vol. 8, no. 4, pp. 83–93, 2013.

D. Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S., Sulisty, "The study of wooden clamps for strengthening of connection on bamboo truss structure.," Jurnal Teknologi, 72(5), 97-103., 2015.

S. Oka, G., Triwiyono, A., Awaludin, A., Siswosukarto, "Experimental and theoretical investigation of bolted bamboo joints without void filled material.," Applied Mechanics and Materials, 776, 59-65., 2015.

Y. M. Hu, H., Yang, J., Wang, F. L., Zhang, "Mechanical properties of bolted joints in prefabricated round bamboo," 2018.

D. Trujillo, D., Malkowska, "Empirically derived connection design properties for Guadua Bamboo.," Construction and Building Materials, 163, 9-20. 43., 2018.

Chiangmai Life Architect (CLA)., "Panyaden international school sports hall/bamboo architecture," 2018.

V. R. Sonar, I. P., Siddhaye, "Theoretical and experimental investigation on single and double bolted bamboo joint under axial tension.," Journal of Structural Engineering, 36(3)., 2009.

M. Seixas, L. E. Moreira, J. Bina, and J. L. M. Ripper, "Design and analysis of a self-supporting bamboo roof structure with flexible connections," Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures, vol. 60, no. 3, pp. 221–231, 2019.

A. M. C. Laverde, "INBAR News. INBAR Pavilion Architect," 2019.

- R. Moran and J. J. García, "Bamboo joints with steel clamps capable of transmitting moment," *Construction and Building Materials*, vol. 216, pp. 249–260, 2019.
- T. S. Paraskeva, G. Grigoropoulos, and E. G. Dimitrakopoulos, "Design and experimental verification of easily constructible bamboo footbridges for rural areas," *Engineering Structures*, vol. 143, pp. 540–548, 2017.
- R. Romo and J. Carlos, "El bambú como material de construcción," *Conciencia Tecnológica*, no. 31, pp. 67–69, 2006.
- G. Bamboo, "que-es-la-guadua-angustifolia," 2020.
- Espazoabalar, "Estructuras," 2020.
- Corpoica, "Identificación del cultivo," 2012.
- Skyciv, "Conexión estructural," 2020.
- D. Niño and D. Vargas, "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FUERZA A TENSIÓN EN LAS UNIONES DE ESTRUCTURAS DONDE EL ELEMENTO RESISTENTE PRINCIPAL ES EL BAMBU GUADUA (ANGUSTIFOLIA KUNTH), UTILIZANDO POLIPROPILENO DE ALTA RESISTENCIA (PPR) COMO MATERIAL DE RELLENO.," 2017.
- L.ómez Fonseca@ and W.íaz Barrera@, "Unión metálica para estructuras en guadua," 2017.
- S. A. Pardo, F. L. Báez, and N. T. Castellanos, "Connections between a column and its foundation for guadua angustifolia structures under lateral loads," *Key Engineering Materials*, vol. 668, pp. 227–237, 2016.
- R. Jockwer, P. Wiehle, P. Palma, M. Klippel, A. Wapp, A. Frangi, and D. Hebel, "Structural behaviour and design of timber connections with dowels and slotted in plates made of bamboo composite," *WCTE 2018 - World Conference on Timber Engineering*, no. April 2020, 2018.
- X. Luo, H. Ren, and Y. Zhong, "Experimental and theoretical study on bonding properties between steel bar and bamboo scrimber," *Journal of Renewable Materials*, vol. 8, no. 7, pp. 773–787, 2020.
- J. Li and A. Zhou, "Mechanical behavior of laminated bamboo lumber dowel type connection," *Advances in Structural Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 65–73, 2020.
- C. Hong, H. Li, Z. Xiong, R. Lorenzo, I. Corbi, O. Corbi, D. Wei, C. Yuan, D. Yang, and H. Zhang, "Review of connections for engineered bamboo structures," vol. 30, no. November 2019, 2020.
- D. Y. La, F. Dialnet, C. D. E. Dialnet, C. Del, A. A. Dialnet, R. D. E. Usuario, L. A. P'agina, D. E. A. En, and T. C. O. N. L. O. S. Resultados, "guía DIALNET," 2020.
- B. Sciences, C. Science, P. Sciences, and E. Science, "SCIENCEDIRECT Guía de consulta," pp. 1–2, 2004.

C. Lluís, "PLATAFORMAS DIGITALES EDITORIALES: TAYLOR AND FRANCIS ONLINE," 2017.

P. Luna, A. M. Olarte, and C. Takeuchi, "Análisis teórico experimental de conexiones en elementos estructurales de bambuquada laminado pegado prensado, para un proyecto de vivienda," vol. 81, no. 184, pp. 110–114, 2014.

J. T. J. Salamanca, L. Acosta, F. Higuera, N. Pamplona, "Evaluación del comportamiento mecánico de uniones de guadua Angustifolia Kunth (GAK) - polietileno de baja densidad (PEBD).pdf," 2020.

B. Lefevre, R. West, P. O'Reilly, and D. Taylor, "A new method for joining bamboo culms," *Engineering Structures*, vol. 190, no. April, pp. 1–8, 2019.

F. A. Lamus B'aez, M. A. Plazas Bernal, and P. Luna Tamayo, "Resistencia de una conexión emperrada solicitada a cizalladura doble paralela a la fibra para estructuras de guadua angustifolia; Bolted join strength under parallel to grain double shear in guadua angustifolia structures," vol. 19, no. 43, pp. 52–62, 2015.

H. Castaneda and S. Bjarnadottir, "Analysis of the Bolted Connection of a Bamboo Composite I-Shaped Beam Subjected to Bending," *Procedia Engineering*, vol. 145, no. 860, pp. 796–803, 2016.

L. Villegas, R. Mor'an, and J. J. García, "A new joint to assemble light structures of bamboo slats," *Construction and Building Materials*, vol. 98, pp. 61–68, 2015.

L. Villegas, R. Mor'an, and J. J. García, "Combined culm-slat Guadua bamboo trusses," *Engineering Structures*, vol. 184, no. February 2018, pp. 495–504, 2019.

T. Reynolds, B. Sharma, K. Harries, and M. Ramage, "Dowelled structural connections in laminated bamboo and timber," *Composites Part B: Engineering*, vol. 90, pp. 232–240, 2016.

F. Wang and J. Yang, "Experimental and numerical investigations on loadcarrying capacity of dowel-type bolted bamboo joints," *Engineering Structures*, vol. 209, no. November 2019, p. 109952, 2020.

Considerando el acuerdo 213 del año 2015 de la Universidad Católica de Colombia y las líneas de investigación aprobadas por la Universidad se establece que:

Alternativa: trabajo de investigación.

Línea de investigación: gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades.

Eje temático: revisión de literatura en conexiones de guadua.

Capítulo 1

Introducción

Desde hace años el interés en el campo de la ingeniería civil ha incrementado respecto a la búsqueda de materiales que sean renovables y sustentables en pro del medio ambiente. Uno de estos materiales es la guadua. Que ha venido fortaleciéndose como un material viable para poder construir ofreciendo múltiples aplicaciones y beneficios por sus propiedades y resistencia.

Aunque en la actualidad este material volvió a tomar impulso, parte de la población desconoce que la guadua siempre ha sido utilizada por diferentes comunidades desde la época prehistórica ya que es uno de los primeros materiales en ser utilizados por el hombre para la creación de viviendas y diferentes tipos de estructuras. Actualmente la guadua es usada frecuentemente, sin embargo se deben mencionar algunas restricciones en cuando a las edificaciones ya que solo es permitida usarse para construcciones de máximo dos pisos de altura. Anteriormente no existía una norma que cobijara este tipo de estructuras en la construcción. Solo hasta el año 2010 se introdujo una actualización a la Norma de Construcción Sismo Resistente del año 1998 NSR-98, la cual contemplaba este tipo de construcciones y abrió las posibilidades de trabajar con dicho material.

Es importante tener en cuenta el diseño de las conexiones a la hora de llevar a cabo cualquier tipo de construcción en estructuras de guadua, ya que los nodos son los encargados de distribuir las fuerzas en toda la estructura. El uso no adecuado de estas conexiones podría generar la falla de la estructura o reducir considerablemente su vida útil. Por lo anterior y teniendo en cuenta que las conexiones en guadua son indispensables en la estructura, el propósito de este trabajo es recopilar y analizar el estado de conocimiento en la literatura respecto al comportamiento mecánico de las conexiones en guadua para mejorar el comportamiento en las estructuras con este material en Colombia. La guadua es un material natural y renovable, su uso es tan antiguo que, según el libro ‘Nuevas técnicas de construcción en Bambú’ (1978), en Ecuador se han encontrado improntas de bambú en construcciones que se estima tienen 9500 años de antigüedad. En el año de 1806 fue descrita por Humboldt y Bonpland en Colombia como *Bambusa guadua* y en 1822 clasificada por Kunth como *Guadua Angustifolia* [4].

Esta especie hace parte de un género de guaduas, caracterizadas por tallos robustos. En particular, la guadua *Angustifolia* sobresale por sus culmos de hasta 30 m de altura y 25 cm de diámetro y porque sus 3/4 partes inferiores permanecen prácticamente verticales (lo que la hace ideal para laminados). Es importante mencionar que este bambú se desarrolla en óptimas condiciones desde los 1000 hasta los 1600 msnm, razón por la cual Colombia tiene los mejores especímenes de esta especie [5].

Gracias a su alta resistencia también es llamada también el acero vegetal, por ser una sección tubular es resistente a fenómenos de torsión sin embargo se ha podido evidenciar que es importante en el diseño de las conexiones y su correcta instalación, ya que por ser un material anisotrópico, la debilidad puede presentarse cuando se desarrollan uniones que soportan esfuerzos a tracción y por ende se puede generar una falla prematura en las estructuras.

En conclusión y a manera comparativa- una varilla de hierro de 1 cm² de sección menos de 1/2"- resiste a la tracción 40 KN (KiloNewtons); una guadua con una sección de 12 cm² resiste 216 KN, por ello se le denomina "acero vegetal". Cabe destacar que la guadua trabaja a flexocompresión y a tracción, en este último se verá afectada cuando trabaje a la flexión y al aplastamiento perpendicular a su longitud; por consiguiente, las estructuras de guadua deben calcularse como barras articuladas en los empates, pues en ninguno de estos nudos puede considerarse como una estructura aporticada o empotrada [6].

En este documento se analizan diferentes tipos de conexiones para estructuras en guadua mediante una revisión de literatura, en donde a partir de una ecuación de búsqueda se extrae información acorde con los distintos tipos de diseños de conexiones que se les hayan aplicado estudios que permitan un análisis completo de cada diseño de conexión y así poder brindar información precisa en lo que tiene que ver con el comportamiento mecánico de estas, para su respectiva aplicación en los diferentes tipos de estructuras que se desee emplear.

Capítulo 2

Antecedentes

Particularmente en Colombia, se destaca la especie de guadua *Angustifolia Kunth*, y adicional a su uso en construcciones de técnicas tradicionales, se puede encontrar en la construcción de obra temporal, como elementos de apuntalamiento, o en la ejecución de obras informales, principalmente en el área geográfica conocida como el eje cafetero; sin embargo, gracias a sus características, respecto a la tasa crecimiento, la cual está alrededor de 0.11 a 0.21 m por día [7], el corto tiempo necesario para su aprovechamiento tomando un tiempo de cosecha de tan solo 3 años [8] y sus condiciones mecánicas, fortalecen este material de construcción tanto en el ámbito constructivo como en los diferentes escenarios del proceso productivo, buscando generar un aprovechamiento de todo su potencial, en la construcción su uso está parcialmente reglamentado y normalizado, y ya se encuentra incluida en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-2010). Actualmente en Colombia se utiliza el tipo guadua *Angustifolia Kunth* ya que esta es la única que se encuentra avalada por la Normativa Colombiana.

Esta especie particular de bambú (*Guadua angustifolia Kunth*) se encuentra principalmente en países como Colombia, Venezuela y Ecuador, aunque también tienen presencia en países centroamericanos como Panamá, que junto con Colombia se han caracterizado por el uso de esta especie en diferentes campos. El mapa que se muestra a continuación muestra los continentes en donde se produce la guadua *angustifolia Kunth*.



Figura 2.1: Continentes en donde se produce la guadua angustifolia Kunth

Fuente: Adaptado de [9]

2.1. Guadua Angustifolia Kunth

Esta especie de guadua tuvo su primera clasificación en Colombia en el año 1806 y solo fue hasta 1822 que se clasificó con el nombre con el que hoy se le conoce; desde entonces se ha caracterizado por ser un material ampliamente utilizado para diferentes labores que hicieron y hacen parte del desarrollo económico, social y cultural del país [10].

El bambú es de la familia gramínea, es madera con fibras las cuales poseen características de resistencia y flexibilidad. Uno de los problemas actuales sobre las características físico-mecánica de la guadua, es que la documentación de dichas investigaciones no se encuentra homologada; para tener un orden de magnitud, y dada la seriedad y representatividad de los ensayos realizados por el “Instituto Alemán de Pruebas de Materiales de Construcción Civil de Stuttgart” en noviembre del año 1999 para el pabellón ZERI de Colombia en ExpoHannover, en guadua variedad “macana” procedente de la zona cafetera, se presentan los resultados a continuación advirtiendo que estos no corresponden a los límites sino a los de diseño:

Comprensión. Sigma: 18 MPa

Lamda: 0, Módulo de Elasticidad: 18400 MPa

Tensión. Sigma 4 18 MPa, Módulo de Elasticidad: 19000 MPa

Flexión: Sigma 18 MPa, Módulo de Elasticidad: 17900 MPa

Cortante: Tau –sin cemento en el canuto- 1.1 MPa

Peso Específico: 790 Kg/m³.

En conclusión y a manera comparativa una varilla de hierro de 1 cm^2 de sección resiste a la tracción 40 kN; una guadua con una sección de 12 cm^2 resiste 216 kN, por ello se le denomina “acero vegetal”. Cabe destacar que la guadua trabaja a flexo-comprensión y a tracción, en este último se verá afectada cuando trabaje a la flexión

y al aplastamiento perpendicular a su longitud; por consiguiente, las estructuras de guadua deben calcularse como barras articuladas en los empates, pues en ninguno de estos nudos puede considerarse como una estructura aporticada o empotrada [6].

Como se mencionó anteriormente, la especie *G. Angustifolia* sobresale dentro del género por sus propiedades físico-mecánicas y por el tamaño de sus culmos que alcanzan hasta 30 m de altura y 25 cm de diámetro. Reúne dos variedades: *G. angustifolia* var. *bicolor* y *G. angustifolia* var. *negra*, y varias formas: “cebolla”, “macana” y “castilla”. Sus culmos son bien lignificados, con entrenudos huecos que tienen entre 10 cm y 40 cm según su variedad, biotipo y forma; la corteza es delgada lisa y brillante. La estructura anatómica del culmo tiene una parte interior gruesa y altamente lignificada, mientras que la exterior está cubierta de seda, de la que se deduce su resistencia a la absorción de agua. Sus fibras proporcionan resistencia a la pared y son largas, rectas y afiladas, con una estructura polilaminar, que trabaja con la máxima capacidad en la dirección longitudinal y se comporta dentro de la pared como las barras de acero en el concreto armado, al que ayuda a rigidizar los nudos [11].

El bambú crece en regiones intertropicales, especialmente en las zonas que se indican en la siguiente figura:



Figura 2.2: Plano de zonas aptas para el cultivo de bambú en el mundo

Fuente: Adaptado de [11]

La durabilidad de toda construcción se garantiza en la medida en que se dominen los conceptos teóricos que se requieren para el análisis estructural y del buen conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, en este caso de la guadua. Entre los factores que influyen en la calidad de la guadua están las propiedades físicas; la gravedad o peso específico es buen indicativo por su estrecha relación con la resistencia mecánica, la contracción, el secado, el trabajo y otros muchos usos [12].

Por otro lado en la investigación de Elvira Navas [13] se menciona que las fuerzas que se presentan en las estructuras debido a las aceleraciones del sismo están directamente relacionadas con el peso de la edificación, por lo tanto a mayor peso

mayores fuerzas de inercia. La constitución anatómica tubular y fibrosa del bambú le permite absorber energía de deformación que redundará en una mayor flexibilidad, retardando las fallas o roturas y permitiendo un comportamiento más dúctil. Aún cuando se presenten movimientos sísmicos muy intensos las características de absorción y disipación de energía le permiten mostrar ese comportamiento dúctil, absorbiendo y amortiguando sin fallar, efectos mayores a los previstos. Esta propiedad es ventajosa para asegurar el menor daño a los ocupantes de una edificación en estas circunstancias.

En el estudio de Takeuchi [2] en donde se analizaron unas probetas tomadas de la pared del culmo externo e interno de la guadua se pudo confirmar según los resultados de los laboratorios que la pared externa de la guadua es mucho más resistente que la interna ya que la resistencia a la tracción de la pared interna fue de 873kg/cm² mientras que la externa arrojó resultados de 1.647kg/cm². Se pudo observar que esto se debe a que la parte exterior es más dura que la interior ya que posee sílice, lignina y cutina, además de tener mayor cantidad de fibras en la parte externa tal y como se puede apreciar en la imagen xx. También verificaron que la falta de fibras radiales hace que la resistencia a la compresión perpendicular sea menor que la paralela, aproximadamente de un 25 % a comparación de la resistencia a la tracción de la pared interna.

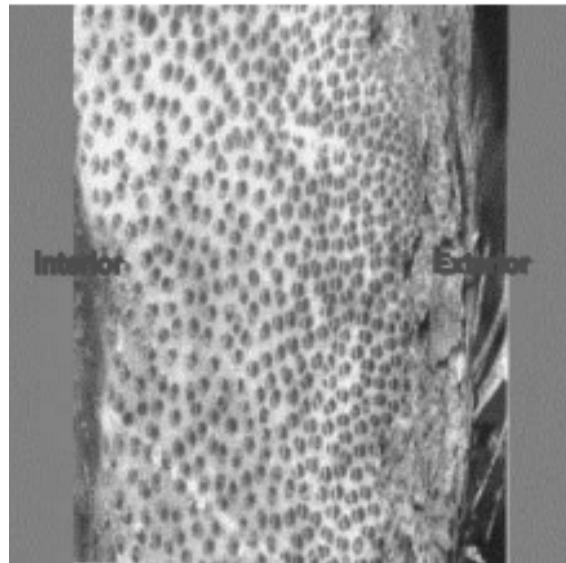


Figura 2.3: Pared del culmo de guadua *Angustifolia*

Fuente: Adaptado de [2]

En el mismo estudio en donde [1] menciono los resultados que se muestran en la siguiente tabla, se pueden ver resumidos los valores comparativos de otros estudios de la resistencia a la compresión perpendicular.

Autor	Valor
Ghavami y Marinho (2005) Mpa	28.46
González(2008) Mpa	26.92
Lozano (2010) Mpa	33.89
Muñoz (2011) Mpa	53.70
Capera y Erazo (2012) Mpa	37.83
Martin y Mateus(1981) Mpa	64.92
Duran y Uribe (2002) Mpa	49.46

Cuadro 2.1: Resistencia a la compresion paralela a la fibra [2]

La diferencia entre los resultados de los autores que se mencionan en la tabla se debe a que las muestras fueron tomadas de distintas partes de Colombia por ende tienen diferente contenido de humedad y su resultado se ve afectado. En la investigación realizada por [14] en donde se estudian muestras de culmo de guadua angustifolia menciona que la anatomía del culmo se compone principalmente de haces vasculares y que esta varia en toda la sección del culmo y que el culmo de esta especie de guadua esta compuesto por 51 % de tejido de parénquima, 40 % de fibra y 9 % de células conductoras.

En el estudio realizado por Moreno y Rojas [15] realizan pruebas físicas y mecánicas a unos culmos de guadua en donde se valida que el contenido de humedad afecta directamente la resistencia y esfuerzo admisible de la guadua. Los mejores resultados fueron los de las muestras que solo tenían 20 % de humedad ya que las que tenían humedad mayor se vaian afectadas de manera directa con la estabilidad del elemento estructural.

El Laboratorio de Ingeniería Civil Naval de los Estados Unidos [16] informó de un estudio que proporciona un conjunto de instrucciones sobre cómo construir correctamente una variedad de estructuras y elementos estructurales utilizando bambú. Este estudio sugirió no usar bambú verde sin condimentar para la construcción general, ni usar bambú sin impermeabilizar en concreto. Con respecto al hormigón armado con bambú, se encontró que los diseños de la mezcla de hormigón pueden ser los mismos que los utilizados con el acero, con un asentamiento tan bajo como lo permita la trabajabilidad. El hormigón armado con bambú es un método alternativo potencial de construcción ligera a bajo costo.

Ghavami [17] discutió las propiedades mecánicas del bambú, específicamente relacionadas con el bambú en el hormigón. Este estudio mostró que la carga última de una viga de hormigón reforzada con bambú aumentó un 400 % en comparación con el hormigón no reforzado. Se encontró que, en comparación con el acero, había menor unión entre el bambú y el hormigón, y el bambú tenía un módulo de elasticidad de 1/15 del acero. La resistencia a la compresión del bambú fue mucho menor que su resistencia a la tracción, y hubo una alta resistencia a lo largo de las fibras, pero una baja resistencia transversal a las fibras. Se manifiesta la necesidad de desarrollar un código de diseño simple para la aplicación del bambú como material de construcción.

En el estudio de Shigeyasu, Yoshinobu, Tamotsu, Yukito y Shimizu [18] se investigaron las propiedades mecánicas y físicas del bambú. Llevaron a cabo una investigación exhaustiva sobre la estructura y los propósitos de los nodos, que encontraron para fortalecer el culmo de bambú. También comentaron sobre la ventaja que tiene el bambú sobre otros materiales de construcción naturales con su rápida tasa de crecimiento.

Tommy, Cui y Leung [19] dieron una descripción detallada de las propiedades mecánicas del bambú en su estudio. Descubrieron que los atributos físicos y mecánicos varían con respecto al diámetro, la longitud, la edad, el tipo, la posición a lo largo de los tallos y el contenido de humedad del bambú.

Shigeyasu y Sun [20] estudiaron las propiedades de fractura del bambú. En contradicción con otros estudios, este estudio afirma que la resistencia a la tracción de las fibras de bambú casi corresponde a la del acero. El principal descubrimiento es que las propiedades de fractura del bambú dependen del origen de la fractura. En los nudos, se encuentra que la tenacidad promedio a la fractura es menor que el valor mínimo de todo el Culm, lo que sugiere que las fibras en los nudos no aportan ninguna resistencia a la fractura.

2.2. Uniones

Dado que el bambú es hueco, cónico, tiene nudos a distancias variables y no es perfectamente circular, es necesaria la técnica de los fabricantes de uniones con este material. Hay que considerar estas limitaciones al diseñar una articulación.

Dentro de este proceso de uso de la guadua se destaca a Simón Vélez, Esencialmente el diseño de las uniones del arquitecto consiste en hacer trabajar la guadua a tensión atravesando una varilla de 1/2" por un canuto, que posteriormente se rellena con mortero, y ante la solicitación el cilindro de mortero, que posee poca adherencia con las paredes de la misma guadua, se produce un esfuerzo sobre el nudo hasta la falla sin aprovechar la resistencia de las fibras. Mientras que el pasador origina un esfuerzo de corte, y rasgando así la guadua por el orificio [21].

Inicialmente se encuentra un estudio experimental acerca de conexiones entre elementos rollizos de caña guadua angustifolia Kunth. La experimentación consistió en construir cerchas triangulares de caña guadua las mismas que fueron sometidas a ensayos destructivos aplicando carga vertical, buscando obtener información acerca del comportamiento de tres diferentes tipos de conexión: conexiones empernadas, conexiones empernadas utilizando mortero de cemento como refuerzo en los puntos de unión y conexiones empleando accesorios de tubería sanitaria de PVC. Los datos obtenidos ayudaron a determinar el comportamiento de las conexiones a fin de plantear las conclusiones y recomendaciones pertinentes que conlleven en lo posible a la realización de futuras investigaciones. Como resultado se logró determinar el comportamiento entre elementos estructurales con relación a las estructuras en guadua, lo cual facilita en la investigación aclarar dudas en cuanto al diseño de

conexiones que se desea emplear para cada tipo de aplicación en la construcción [21].

En el proyecto presentado por Jenny Garzón, titulado “Optimización de estructuras en Guadua”, de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia, se analiza la resistencia de la unión propuesta por Simón Vélez, y se demuestra que dicha unión resiste en la falla alrededor de 3000 Kg por cada entrenudo que se rellena y es inducida por el tabique y no porque se sobrepase la resistencia a tracción del material [22].

En otro trabajo presentado por los estudiantes Cesar Muñoz y Hugo Rodríguez, de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia, se estudió una unión constituida por conectores conformados por una lámina circular perforada a la que se le introduce un pasador de $\frac{1}{2}$ " y ocho puntillas de 1" de longitud y $\frac{1}{8}$ " de diámetro. Para introducir el pasador y las puntillas se pre taladra para evitar que la guadua se raje. Esta unión arroja un valor de 1000 Kg por cada par de conectores instalados sobre la guadua [23].

En el trabajo de grado de Sandra Clavijo y Jorge Trujillo se proponen lograr uniones con valores de resistencia superiores a las uniones existentes, que utilicen tecnologías simples y económicas. Dentro de su trabajo se analizan y exponen dos tipos de uniones.

Dentro de las diferentes clases de uniones se encontro la conexión tipo abrazadera, que consiste en un anillo de acero u otro metal, que se envuelve y adhiere con clavos o tornillos a la guadua, teniendo cuidado de no ubicarlos colineal mente en sentido longitudinal; el segundo tipo de unión es con mortero, la cual se inspira de la propuesta de Simón Vélez, cuya diferencia radica en la reducción del peso y cuya resistencia no depende del tabique, sino de las paredes de la guadua. Dentro de los tipos de uniones ensayadas se destacó la unión tipo abrazadera puesto que obtuvo una mayor resistencia (10500 Kg) que la unión propuesta por Simón Vélez. Este sistema, consiste en una lámina cold-Rolled calibre 22 de 0.04 m de ancho, dándole cinco vueltas sobre la vara de guadua y colocándole tres tornillos de $\frac{1}{4}$ " lamina-guadua y nueve tornillos del mismo calibre, sólo en la guadua [24].

En el trabajo de grado titulado “Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexión” por Edwin Prieto Y Jorge Sánchez Pineda, se determina la longitud de falla para que un elemento de guadua sometido a cargas transversales agote su resistencia por cortante, por flexión o se produzca una deflexión superior a la permisible. De los ensayos se llegó a determinar que no se encuentra influencia de los nudos en la resistencia a flexión de la guadua Angustifolia, y que sólo un 1.7 % de fallas se presenta en la zona adyacente al nudo por lo cual la discontinuidad de las fibras por la presencia de nudo y no influye en la resistencia a flexión del material [25].

En la investigación “Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la guadua de Castilla” por Martín y Mateus, se evalúa el comportamiento a compresión de columnas cortas y largas de guadua. De las gráficas esfuerzo-

deformación obtuvieron un comportamiento elástico de la guadua. También de los resultados se logró encontrar el punto de saturación de la fibra (PSF) para la guadua y una fórmula de cuarto grado, que relaciona el Esfuerzo máximo a compresión con la relación de esbeltez para columnas cortas, como también una fórmula de Euler para columnas largas [26].

Martín y Mateus, determinaron los siguientes datos para una humedad del 12 %, que a continuación se presentan en la siguiente tabla:

Grupo de edad	σ_{max} (kg/cm ²)	Lim. proporcional (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
1 - 3	505	399.21	105.840
3 - 5	661.85	524.04	121.528
5 o mas	561.28	456.74	101.427

Cuadro 2.2: Clasificación de propiedades de la guadua según la edad [3]

En otra investigación se trata de determinar la resistencia última en uniones de guadua con diferentes ángulos por tal motivo se desarrollaron uniones con variaciones angulares desde los 45° hasta los 90°, analizando los tipos de falla producida tanto en tracción como en compresión con un objetivo para determinar cuál es la unión óptima en construcción de estructuras en guadua. En este estudio se encontró que se realizaron estudios a diferentes uniones de elementos en guadua con ángulos entre ellos para poder recomendar aquella que tenga mejor comportamiento para futuras aplicaciones en la construcción. Se logró determinar el tipo de unión óptima desde el punto de vista de su comportamiento estructural al ser sometida fuerza axial, así mismo se optimizó el proceso constructivo previo al ensamble de dichas uniones para garantizar una adecuada transmisión de esfuerzo entre elementos [3].

2.3. Justificación

A lo largo de los años, en Colombia y Latinoamérica se ha venido implementando la guadua en las estructuras convencionales, esto ha despertado el interés en estudiar este material para determinar con certeza las propiedades mecánicas que este ofrece y así llevar a cabo el desarrollo de una serie de diseños de conexiones para estructuras en este material. Dentro de todo este tema se considera la manera en que se desarrolla o se trabajan las conexiones en las estructuras de guadua. Si bien se puede evidenciar, en Bogotá existen construcciones en estructuras de guaduas, una de ellas y para resaltar, es el puente de guadua ubicado en la calle 80 con carrera 119. Los diferentes sismos registrados en la historia colombiana y principalmente el ocurrido en el año de 1999 en la ciudad de Armenia, han demostrado el buen desempeño sísmico de estructuras construidas con guadua, pero también han hecho evidente los errores cometidos por su utilización inadecuada [27].

Por esta razón es determinante contar con un trabajo de revisión ya que en las investigaciones que se realizaron no se ha evidenciado una revisión de esta respecto

al comportamiento mecánico de las conexiones en guadua para garantizar un buen comportamiento de las estructuras de guaduas en Colombia; de aquí parte la importancia en implementar este documento, que busca servir a las personas que empiezan a trabajar en este tipo de estructuras. Las diferentes normas que fueron encontradas y que están orientadas a la guadua son la NTC 5407:2018 y NRS-10 Título G que solo clasifica los tipos de uniones de acuerdo con el material de conexión y de acuerdo con la función.

Por otro lado, se busca realizar de esta forma un aporte a la ingeniería civil en Colombia que vaya de la mano con los conocimientos necesarios para la implementación de nuevos recursos en las estructuras en guadua, más específicamente en las conexiones de éstas.

Capítulo 3

Planteamiento y formulación del problema

A lo largo de los años el tema de las conexiones en las estructuras de guadua se ha venido investigando para permitir obtener los conocimientos a profundidad de los comportamientos y sus aplicaciones. En Latinoamérica, los diseños de conexiones en estructura de guadua han venido creciendo en el ámbito de los procesos constructivos, debido a que cada vez más, este tipo de estructuras, se han venido implementando en la ingeniería civil. Esto por las propiedades con las que cuenta este material, que, a su vez, brindan un mejor desarrollo a algunos diseños de estructuras, teniendo ayudas que son escasas en la norma y artículos para determinar la manera correcta con las que en este tipo de conexiones se puedan desarrollar.

Por otro lado, los diseños de conexiones en estructuras de guadua a nivel nacional se ven limitados ya que las normativas cuentan con información general en cuanto a todo lo que tiene que ver con uniones en guadua, de acuerdo con las necesidades de resistencia en cada caso de aplicación del material según la estructura. Se han empleado diferentes métodos de diseño de conexiones en las estructuras de guadua sin tener en cuenta, o especificar el campo de aplicación estructural en las que estas se emplean, como conexiones mediante pernos, conexiones mediante incrustaciones entre el mismo material o conexiones mediante uniones metálicas que le brindan gran resistencia al diseño de la conexión. Bajo estas premisas se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué tipos de conexiones en guadua se podrían implementar para mejorar el comportamiento mecánico de las estructuras en guadua en Colombia?

Capítulo 4

Marco de referencia

4.1. Marco teórico

Conexiones en guadua.

Las uniones o conexiones de guadua pueden ser fijas o desarmables dependiendo del elemento constituyente de una unión. Esta debe diseñarse para que no fallen por tensión perpendicular a la fibra y corte paralelo a la fibra [28].

A través del tiempo se han venido desarrollando diferentes tipos de uniones de manera empírica con amarres utilizando alambre galvanizado o cuerdas de cueros. Una de las restricciones que encuentran los ingenieros estructurales para el diseño de una edificación en guadua es la falta de información técnica relacionada con los parámetros que se necesitan para determinar la conexión más adecuada. Adicionalmente en el momento de ejecución de las conexiones, se deben tener en cuenta que los elementos contruidos con guadua poseen limitantes como forma cilíndrica, variación de los espesores y de los diámetros de los mismos entre otros [29].

Las uniones empernadas de la especie guadua *Angustifolia* cuenta con un respaldo técnico normativo que se utiliza generalmente cuando las solicitudes sobre una conexión son relativamente grandes requiriendo por lo tanto el uso de pernos normalmente acompañados de platinas de acero [30].

Cortes

Los cortes más utilizados para la conformación de las uniones de bambú son: corte recto, corte boca de pescado, corte pico de flauta, corte a bisel o diagonal, tal y como se puede apreciar en las siguientes imágenes



Figura 4.1: Tipos de cortes para guadua angustifolia

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.2: Cortes de guadua más utilizados

Fuente: Adaptado de [30]

Uniones empernadas

Todos los elementos metálicos usados en las uniones (ver Figura 4.3) que estén expuestos a condiciones ambientales desfavorables como humedad alta o lluvia deben ser anticorrosivos o tener algún tipo de tratamiento anticorrosivo.



Figura 4.3: Uniones empernadas

Fuente: Adaptado de [30]

Las piezas de bambú no deben unirse con clavos ya que la penetración y el impacto de los clavos producen fisuración del bambú debido a las fibras longitudinales. En las uniones que utilicen varillas roscadas, deberán colocarse arandelas platinas metálicas u otro material de resistencia similar entre la tuerca y el bambú. Para el caso de la guadua Angustifolia el espacio entre los pernos no debe ser inferior a 150 mm ni superior a 250 mm, en todo caso debe existir un entrenudo entre cada perno. Es posible usar abrazaderas o zunchos metálicos en el diseño de las conexiones en

caso de que sea necesario.

Uniones perpendiculares, paralelas y en diagonal

Este tipo de union se conforma mediante pernos que fijan la union entre ambos miembros, de acuerdo a la forma del diseño, (perpendicular o diagonal) para el caso de la union paralela, esta va acompañada de abrazaderas que le proporciona una mejor estabilidad a la unión. En las siguientes imagenes se ilustra la modelacion de cada tipo de union.

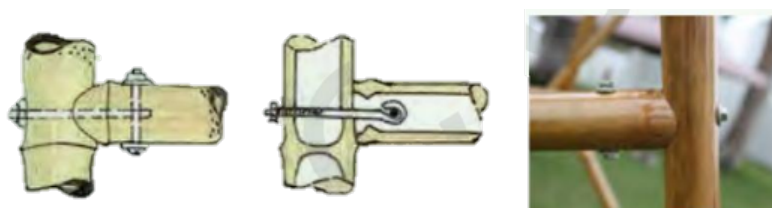


Figura 4.4: Unión perpendicular

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.5: Uniones de dos piezas

Fuente: Adaptado de [30]

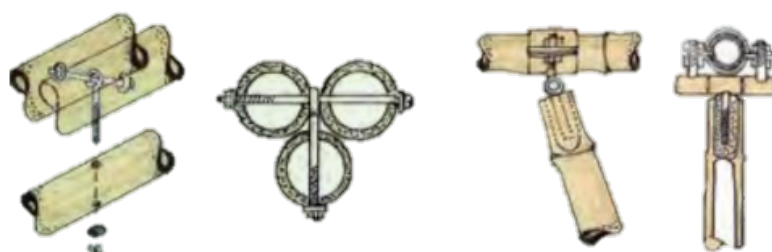


Figura 4.6: Uniones movibles

Fuente: Adaptado de [30]

Uniones tradicionales

se aclara que las uniones que se representan a continuación son una respuesta cultural de la utilización del bambú en la construcción, que se ha venido desarrollando a lo largo de la historia. Pueden ser utilizadas para estructuras menores y temporales [31].

Para el caso de uniones entre columnas y vigas, estos tipos de uniones, son un diseño que se presenta por medio de traslapos entre viga y columna del mismo material, sujeta por medio de un amarre que le brinda fijación completa a la union entre ambos elementos.



Figura 4.7: Uniones entre columnas y vigas

Fuente: Adaptado de [30]

Nuevamente se tiene el diseño de conexion perpendicular, pero esta vez los elementos se conectan de manera diferente, en este caso se conforma mediante un perno que atraviesa en el extremo de la guadua que se une de manera perpendicular, y este sirve de soporte para generar un amarre que fija la conexion de ambos elementos.

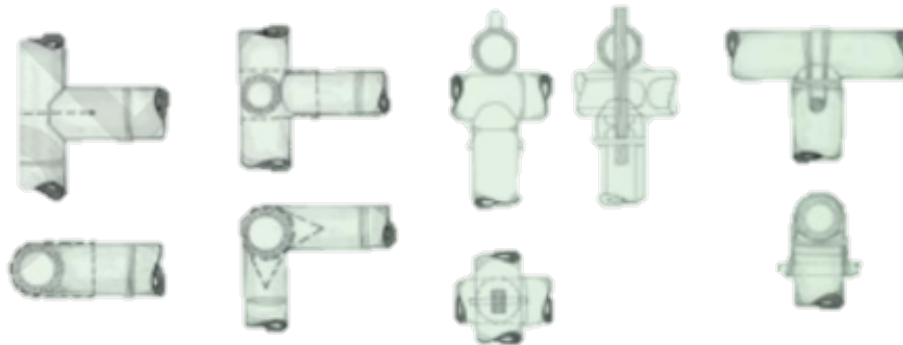


Figura 4.8: Uniones entre elementos horizontales y verticales a tope

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.9: Uniones entre elementos horizontales y verticales a tope

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.10: Uniones entre elementos horizontales y verticales a tope

Fuente: Adaptado de [30]

Se muestran 3 tipo de uniones acontinuación, que se caracterizan por desarrollarse de manera sencilla, en este caso los miembros se cruza y simplemente son sujetados por un amarre que une ambos elementos uno encima del otro y estas se dan de manera horizontal, sobre puesto vertical o inclinado.

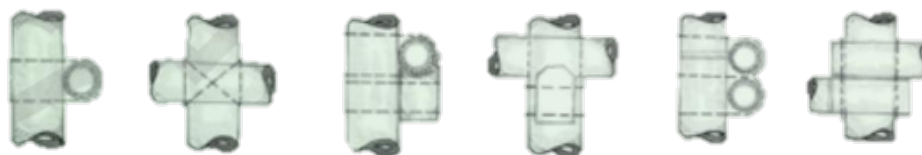


Figura 4.11: Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.12: Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.13: Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.14: Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.15: Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados

Fuente: Adaptado de [30]

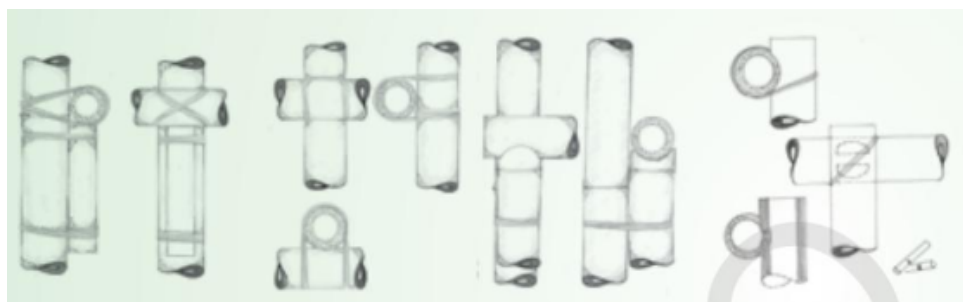


Figura 4.16: Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados

Fuente: Adaptado de [30]

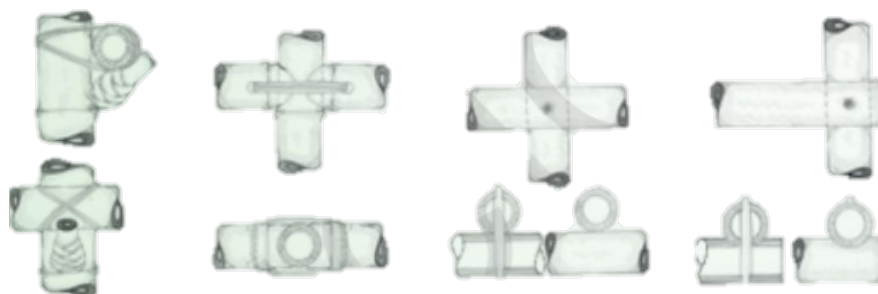


Figura 4.17: Uniones entre elementos horizontales sobre puestos con verticales o inclinados

Fuente: Adaptado de [30]

A continuación se muestra un tipo de union que se conforma por la conexión entre elementos, en donde se sobre pone uno en el otro, pero en esta ocasión el elemento que se sobre pone, es moldeado a la medida del elemento en el que se unirá, esto le permite a la guadua ser flexible a la hora de querer darle una orientación a los extremos de la guadua que es sobre puesta, para finalmente ser sujeta por medio de un amarre que asegura la conexión.

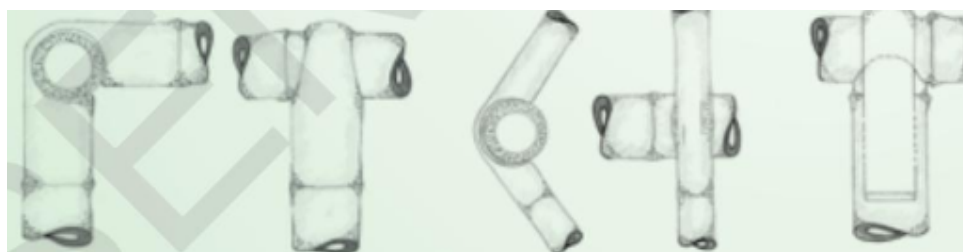


Figura 4.18: Uniones con piezas flexionadas

Fuente: Adaptado de [30]



Figura 4.19: Uniones con piezas flexionadas

Fuente: Adaptado de [30]

SVM Unión tipo Simón Vélez

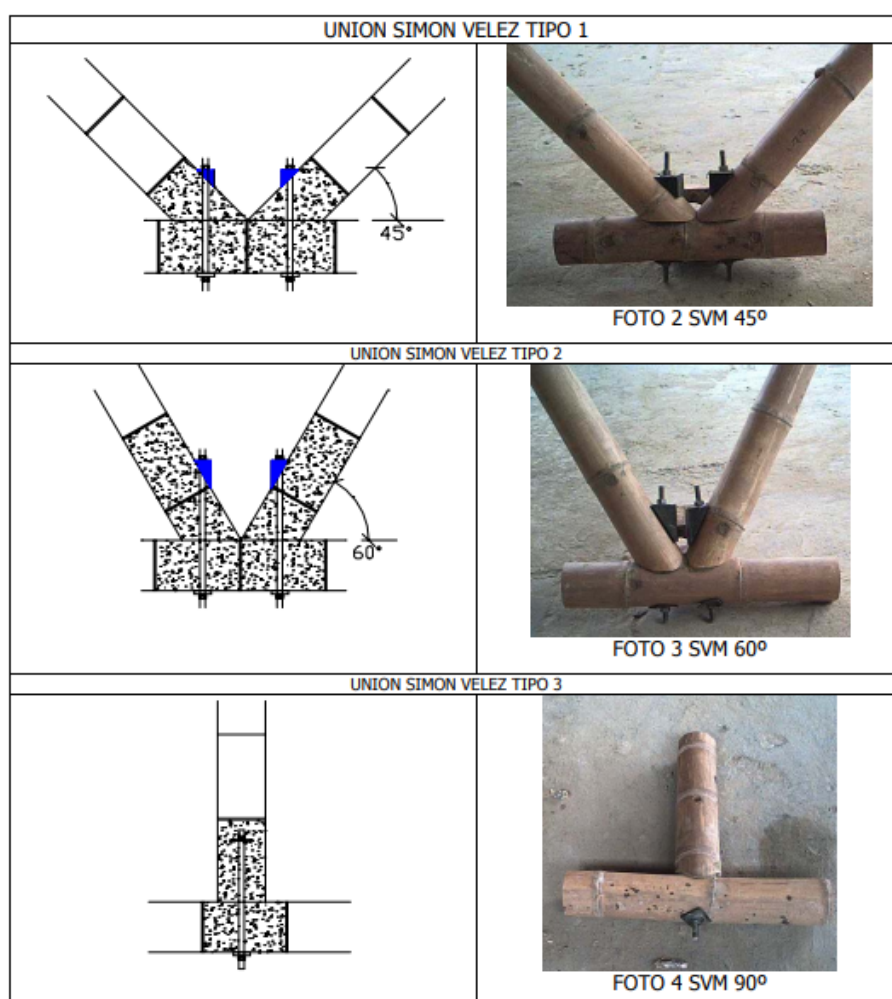


Figura 4.20: Uniones tipo simón Vélez

Fuente: Adaptado de [3]

Las modificaciones hechas a la unión por el arquitecto Simón Vélez, surgen de la necesidad de mejorar dicha conexión. Los cambios hechos a la unión consisten en

que se utilizó varilla de 5/8", un mortero fluido y neopreno, a diferencia de la unión original que utiliza varilla de 1/2", no presenta neopreno y rellena los canutos con un mortero estándar.

En esta unión la guadua trabaja a tensión atravesando una varilla de 5/8" en el canuto que va a transmitir los esfuerzos, dicho canuto se rellena posteriormente con mortero, al someterla a tensión el cilindro de mortero tiene poca adherencia con las paredes de la guadua e induce un esfuerzo sobre las paredes fallando por desgarramiento de estas [3]. Las figuras anteriores muestran uniones con ángulos de 45, 60 y 90 grados, donde las áreas azules corresponden a los prismas de neopreno.

Unión tipo Sandra Clavijo SC

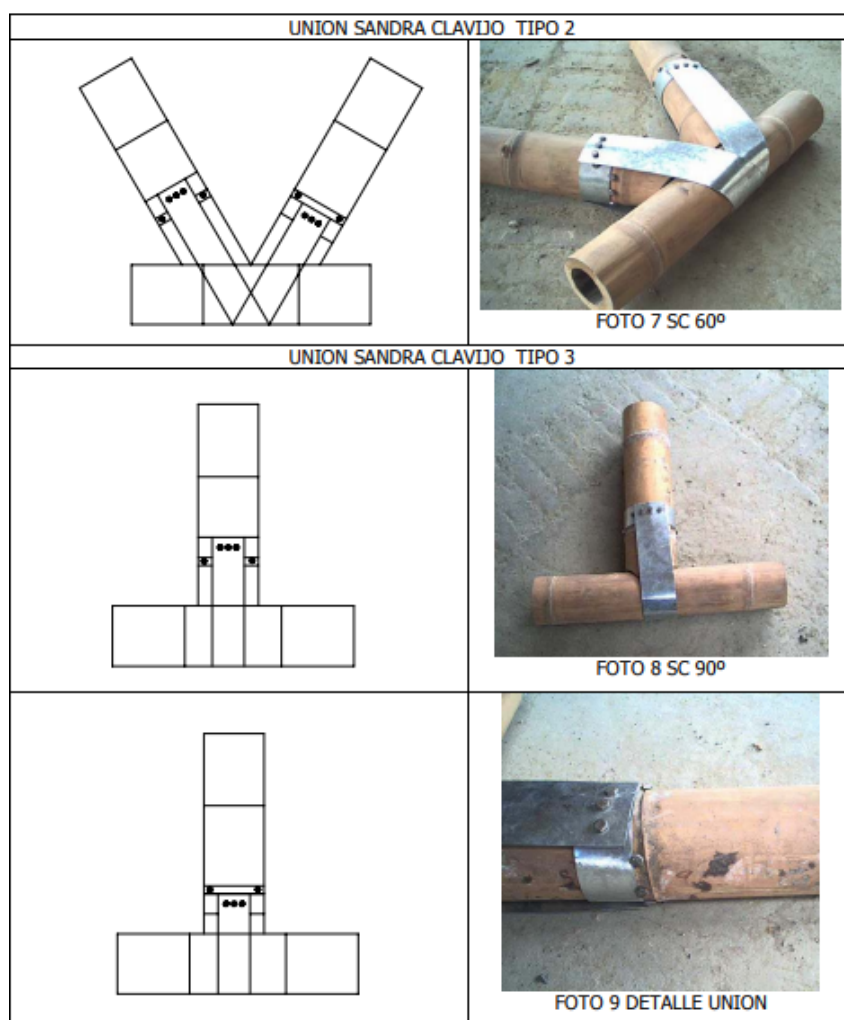


Figura 4.21: Unión tipo Sandra Clavijo

Fuente: Adaptado de [3]

Esta unión se basa en la unión propuesta por los ingenieros David Trujillo y Sandra Clavijo en su trabajo evaluación de uniones a tracción en guadua, con lo cual se procede a enrollar una lámina CR cal. 22 en cada elemento en ángulo. La cual se sujeta con tornillos de 1/4" de diámetro por encima o debajo del canuto según sea la solicitud de carga para el elemento, también se coloca una lámina del mismo tipo con un ancho de 0.08 m, la cual unirá los elementos inclinados envolviendo el elemento continuo.

El cálculo del ancho de esta platina se hizo de la siguiente forma: distancia mínima al borde de la lámina $\frac{1}{2}$ ", separación mínima entre el centro de los tornillos tres veces el diámetro, con lo cual se obtiene un ancho de 0.08 m, para tres tornillos de $\frac{1}{4}$ " con una distancia a los bordes de 0.02 m, y una separación entre tornillos de 0.02 m [3].

Unión tipo Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente (DG)

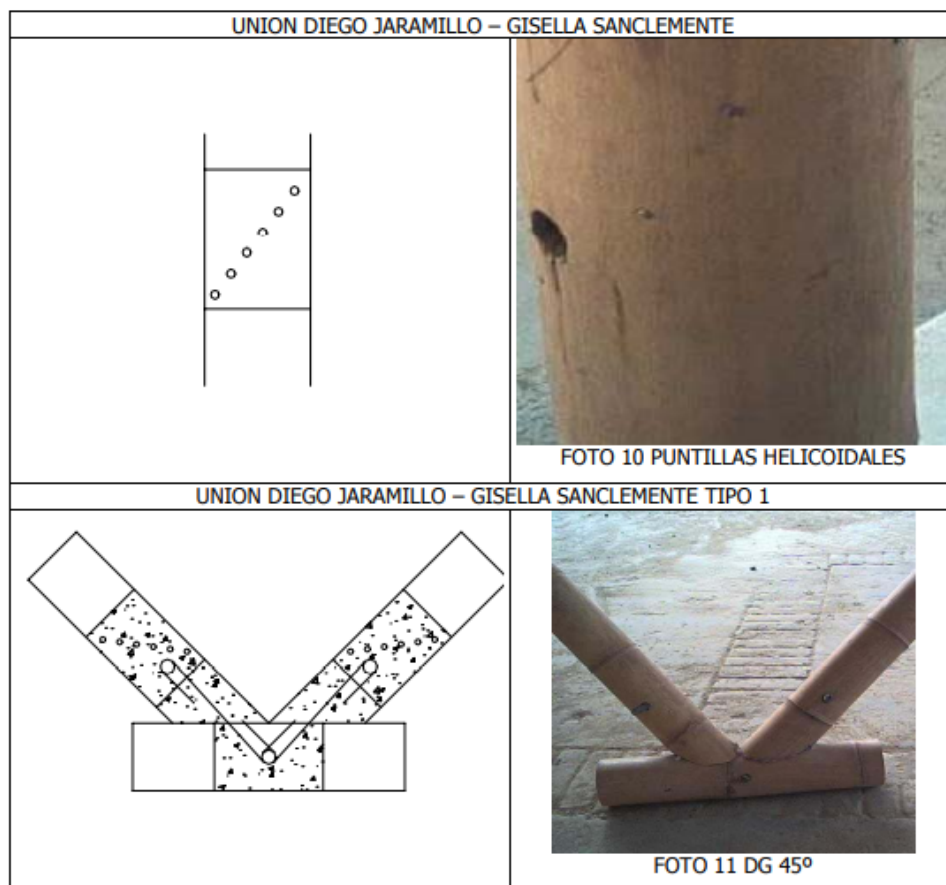


Figura 4.22: Unión Tipo 1 Jaramillo D. y Sanclemente G.

Fuente: Adaptado de [3]

Esta unión está constituida por flejes estándar de 0.3 m los cuales se encuentran dentro de los elementos incluidos y se conectan en un pasador de 5/8" de diámetro

en el elemento continuo. Los canutos en los que se encuentran dichos flejes se rellenan con mortero, y este se sujeta a las paredes de la guadua con una serie de puntillas alrededor de la misma en forma helicoidal. Para introducir los flejes en el elemento continuo, es necesario realizar una ranura de 13 cm de longitud y de 3/4" de ancho. [3].

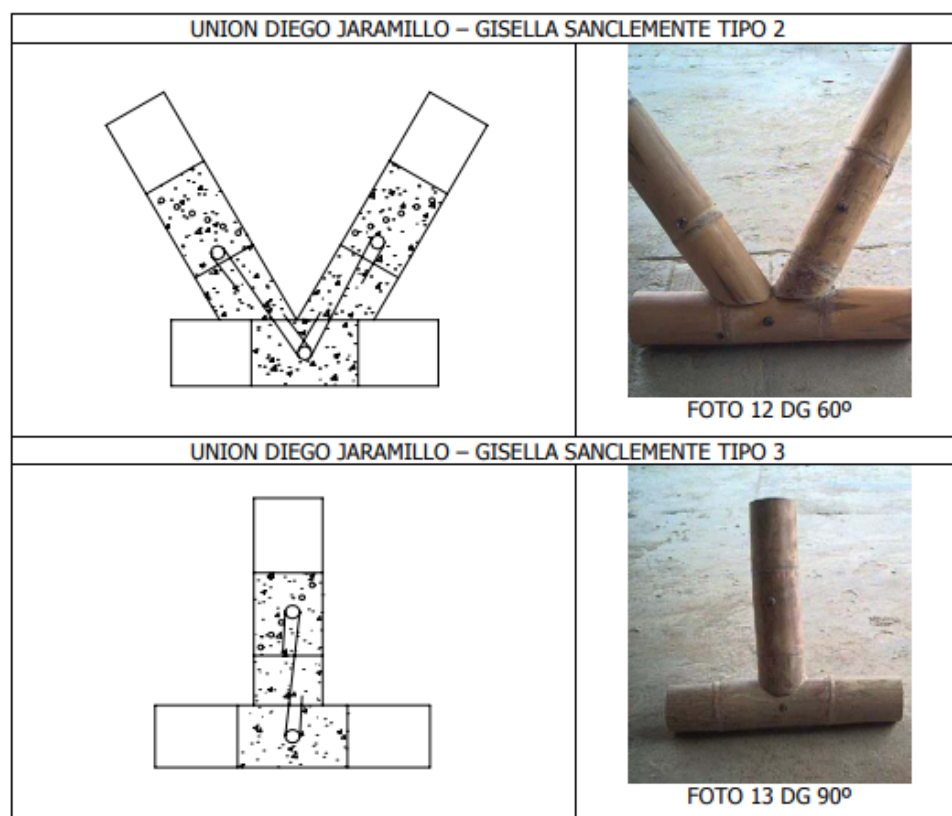


Figura 4.23: Unión tipo 2

Fuente: Adaptado de [3]

Estudio experimental de guadua laminada pegada como material de construcción: calibración adhesiva

El bambú redondo Guadua Angustifolia Kunt se ha utilizado como material estructural en Colombia para la construcción de casas tradicionales principalmente en la región cafetera. No obstante, las aplicaciones han sido limitadas principalmente debido a la variación de las propiedades mecánicas y geométricas del bambú como consecuencia de la estandarización actual de la industria de la construcción, Glued. La guadua laminada (GLG) ha surgido como una alternativa para la construcción de grandes estructuras. Solo se han realizado estudios exploratorios sobre el uso potencial de GLG como material de construcción.

La Universidad de Los Andes en Bogotá realiza por primera vez en Colombia un estudio sobre el comportamiento estructural del GLG. El mejor tipo de adhesivo, así como su tasa de aplicación óptima, basada en un programa de calibración de

adhesivo experimental. Se realizaron pruebas de cizallamiento en línea encolada en probetas GLG ensambladas con cuatro tipos de adhesivos y utilizando la tasa de esparcimiento recomendada por el fabricante. Urea-Formaldehído (UF), Melamina-Formaldehído (MF), Melamina-Urea-Formaldehído (MUF) y una mezcla de 50 % de UF y 50 % de MF fueron los adhesivos seleccionados para este estudio. La resistencia al cizallamiento de la unión de las muestras fabricadas con MUF fue ligeramente mayor que las que utilizan el otro tipo de adhesivos. Sin embargo, las diferencias en la resistencia de la unión al cizallamiento, la resistencia a la flexión y el módulo de la elasticidad entre todos los adhesivos no fue significativa, lo que indica que la tasa de extensión de adhesivo recomendada es excesiva. Además, se realizaron pruebas usando seis diferentes tasas de extensión de adhesivo de la mezcla del 50 % de Se propuso UF y 50 % MF y una tasa de extensión de adhesivo óptima [32]. A continuación, se procede a presentar las conexiones tradicionales en Bambú.

Amarre a prueba de fricción

Para las estructuras hechas completamente de bambú, ha habido una clara evolución histórica en los tipos y método de conexión entre culmos. La tecnología de conexión de bambú más antigua que se conoce utiliza una técnica de ajuste por fricción con cordones trenzados o de múltiples hebras hechos de hierbas autóctonas como el yute, el cáñamo, el ratán y la médula de bambú seca. Al requerir muy pocas herramientas, el enfoque de baja tecnología no requiere mano de obra altamente calificada para su ejecución. Si las fibras naturales se instalan mientras están verdes, la conexión tiende a apretarse alrededor de la junta en servicio. Desafortunadamente, en la mayor parte de los Estados Unidos, los cambios estacionales de humedad pueden hacer que el bambú expandirse y contraerse hasta en un 6 % a lo largo del diámetro [33] lo que provoca un aflojamiento de la articulación.

Históricamente se ha demostrado que las técnicas de amarre de los últimos cientos de años crean conexiones de 2-4 culmos utilizando culmos completos o con muescas en los extremos, sin el uso de perforaciones o adhesivos. Las conexiones simples se basan únicamente en la capacidad de tracción del material de amarre para soportar la carga conjunta. Para conexiones más complicadas, compresión adicional los miembros en ocasiones se agregan como refuerzo transversal. A medida que aumenta el tamaño y la frecuencia en la construcción de edificios, las estructuras de vivienda comenzaron a desarrollarse en plano y ensamblarse como piezas grandes. Culturas diferentes, cuyas prácticas estéticas y tradicionales independientes dictaban diferentes formas estructurales, usaron conexiones de estilo bidimensional/plano (construido plano y elevado para crear formas cuadriláteras, con cada elemento contenido unilateralmente dentro del plano X, Y o Z) o conexiones de estilo tridimensional / agrupadas a menudo se utilizan para crear circulares o modulares planos de planta o secciones triangulares sobre bases cuadriláteras). En la construcción de estilo mixto, las conexiones de amarre planas/bidimensionales se usaban generalmente para paredes, mientras que las conexiones tridimensionales se utilizaron conexiones agrupadas para techos [34] [35].

Conexiones perforadas y con muescas

A diferencia de las conexiones de esquina, que utilizan la capacidad de carga del propio bambú, las uniones con amarre de culmo completo que requieren la unión del culmo medio de los miembros secundarios, dependen de la capacidad de carga del material de amarre y son difíciles de construir. A partir de esta deficiencia estructural, se desarrollaron conexiones con muescas y perforaciones para integrar la capacidad de carga inherente de las cañas de bambú dentro de conexiones de varios niveles o de paso. Requiere herramientas un poco más sofisticadas que las conexiones con muescas de amarre para permitir que la forma arqueada de la sección transversal del culmo tome peso, manteniendo la fuerza y capacidad de carga al tiempo que aumenta la estabilidad de la junta reduciendo el deslizamiento a través de la creación de un área de rodamiento especificada. Las conexiones perforadas utilizan una clavija como punto de anclaje para amarre o utilizan la abertura perforada para pasar el material de amarre. Las conexiones del culmo medio y las conexiones bidimensionales en ángulo son los usos más frecuentes de perforado y juntas con muescas. Al igual que las conexiones de culmo completo, las conexiones de culmo cortado se ven reforzadas con y así sin arriostramiento, dependiendo de la dirección y severidad de la fuerza que actúa sobre la articulación. Porque del potencial de mayor complejidad, las conexiones de los tallos cortados se ven con más tallos incluidos. Con una mayor complejidad de ejecución vino un mayor potencial de falla, ya que pinchar los tallos puede debilitarlos. Sin embargo, para uso diario o residencial, cut-culm las conexiones atadas eran suficientes y se utilizaban ampliamente. En culturas donde el bambú constituía una gran parte de la economía y por lo tanto, el material de construcción, las técnicas utilizadas para construir conexiones complejas de bambú se transmitieron de generación en generación, lo que lleva a la individuación cultural a través de un entrelazamiento de material natural y técnicas manuales. Este conocimiento tecnológico era más o menos insular dentro de cada comunidad hasta el advenimiento del comercio intercontinental y la colonización en el siglo XVI: inspirado en gran medida en el viaje de Marco Polo del siglo XIII entre Italia y China [34]. A medida que más países europeos en particular, recuperaron artefactos y costumbres del Lejano Oriente, también vinieron la estética y las técnicas de construcción utilizando bambú.

La Exposición Internacional de París de 1862 incluyó una sección sobre Japón que, según académicos en el Museo Pitt-Rivers de la Universidad de Oxford (2010), "fue muy influyente en presentar al público británico en general la cultura estética y material japonesa". Entre las naciones conquistadoras y el comercio naval, la estética visual del bambú indígena, la arquitectura del sudeste y este de Asia fue imitada cada vez más en Europa y sus colonias durante siglos, lo que finalmente llevó a la adopción de la tecnología de conexión de bambú para construcciones estéticas residenciales en áreas donde se cultivó o importó bambú. El movimiento estético en Inglaterra a finales del siglo XIX se basó en gran medida en la "estética oriental" puesta en boga por alta sociedad. Sin embargo, esto presentaba un gran problema, ya que las conexiones que utilizaban materiales naturales no podían soportar grandes cargas comerciales. La introducción e integración de lo moderno con

técnicas de conexión de bambú indígenas en los últimos 80 años ha aumentado la capacidad de carga de las conexiones culmo a culmo [36].

Juntas de conexión modernas en estructuras de Bambú

El uso moderno del edificio de bambú crudo tiene requisitos más altos. Para aprovechar al máximo las propiedades del bambú crudo, es necesario adoptar una forma razonable de tensión estructural y una forma precisa de construcción conjunta. Comparado con las dos juntas tradicionales mencionadas anteriormente, el uso de conectores metálicos como medio para conectar bambúes crudos puede resolver eficazmente los problemas de durabilidad, así como los componentes en las juntas fáciles de deslizar. La diferencia esencial entre juntas modernas y juntas tradicionales es que la fuerza se transmite primero a los conectores metálicos y luego a otros componentes de bambú en bruto, mientras que las juntas tradicionales transmiten la fuerza directamente a través del bambú superpuesto. Los conectores metálicos específicos prefabricados también pueden crear formas más complejas de unión, para crear abundantes tipos estructurales y espaciales para satisfacer los requisitos prácticos y artísticos de la arquitectura moderna.

Juntas atornilladas

Los pernos son el conector metálico más utilizado, los cuales poseen un rendimiento económico positivo, alta eficiencia de construcción y transmisión de fuerza simple y confiable. Lo más simple la conexión del perno es que solo necesita perforar agujeros adecuados para el diámetro del perno en la varilla de bambú.

Masdar [37] estudió el valor crítico de la distancia final del perno en la conexión de bambú a través de experimentos y consideraron los dos modos principales de falla: falla por corte y falla por compresión. Los resultados mostraron que cuando los dos modos de falla ocurrieron simultáneamente, la distancia crítica del perno al final de los tallos de bambú tiene 4-5 veces el diámetro del bambú.

Oka [38] realizaron un experimento e investigación teórica de la conexión simple de cortante y la conexión doble de cortante sin material relleno de huecos, y consideró la influencia del espesor del bambú, el diámetro del perno y la gravedad específica en la resistencia lateral.

Hu [39] investigaron la capacidad de carga y el modo de falla de la junta atornillada de prefabricados en bruto estructura de bambú por experimento de carga estática. El estudio mostró que las articulaciones podrían evitar eficazmente la falla frágil y utilizar completamente el desempeño plástico del perno bajo ciertas configuraciones de conexión, y también mostró que el uso de juntas empernadas dobles podría mejorar significativamente la capacidad de carga.

Trujillo [40] Obtuvo ecuaciones predictivas para tres propiedades de diseño de conexión (resistencia de empotramiento de la clavija, módulo de deslizamiento y

capacidad de extracción del tornillo) a través de experimentos, que se basaron en el diámetro del sujetador, densidad y espesor de la pared de bambú. En comparación con ecuaciones similares contenidas en el Euro código 5, en los resultados de los cálculos mostraron que las ecuaciones predictivas eran apropiadas para el bambú. Los pernos y tuercas pueden realizar la conexión entre los componentes de bambú. Otras formas de conexión por pernos se optimizan y mejoran sobre esta base.

Se usa solo una varilla de perno y un par de tuercas para completar la conexión. Otra forma común de conexión por perno se basa en el uso de dos pernos para penetrar dos miembros de bambú, uno de los cuales tiene un gancho en el extremo y dos pernos están conectados por el gancho. La ventaja de este tipo de forma de conexión es que resuelve el difícil problema de conexión. Mediante el uso de un método de construcción simple, pero también hay algunos problemas como la resistencia insuficiente de juntas y fácil desprendimiento del gancho de doblado.

El arquitecto chino Wang Shu diseñó una junta atornillada añadiendo piezas de hierro en forma de U a la pared interior de bambú crudo. Hay dos láminas de metal en la parte de hierro, que se fija mediante pernos a la pared interior de bambú crudo, las láminas de metal contenidas en la junta alivian el efecto de extrusión de las nueces en la varilla de bambú hasta cierto punto, pero en comparación con la articulación, el bambú crudo es fácil de girar solo bajo la fijación del perno, lo que puede provocar inestabilidad [41].



Figura 4.24: Junta atornillada

Fuente: Adaptado de [1]

Algunos estudiosos han llevado a cabo investigaciones experimentales sobre el rendimiento de uniones atornilladas de estructuras de bambú alrededor de factores como la distancia final y el diámetro de los pernos. Sonar [42] han estudiado las propiedades mecánicas de uniones atornilladas simples y dobles de miembros de bambú bajo tensión axial. Los resultados mostraron que una distancia final y un diámetro

de pernos diferentes afectarían la capacidad de carga máxima de las articulaciones. La tensión de rotura final de las uniones de perno doble fue mayor que la de las uniones de perno simple.

Moreira y Seixas [43] analizó las distribuciones de presión no lineal en el área de contacto del perno en un agujero circular de bambú mediante análisis por elementos finitos, considerando la anisotropía y heterogeneidad de material clasificado funcionalmente. Se encontró que el esfuerzo local era relativamente alta y para el refuerzo local se sugirió aplicar tiras de fibra natural cerca del agujero.

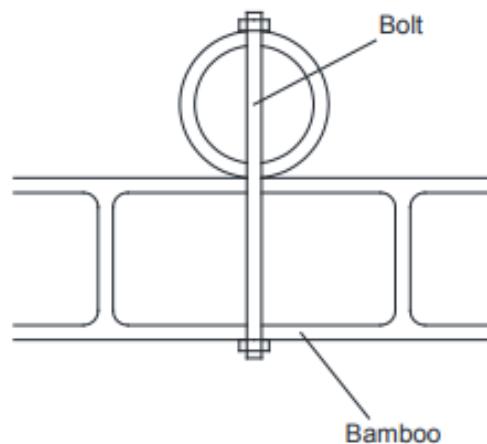


Figura 4.25: Formas simples de junta atornillada

Fuente: Adaptado de [1]

Las conexiones atornilladas requieren una alta resistencia al corte del bambú en bruto. Por el hueco y las características del material de paredes delgadas es posible que el bambú crudo se agriete en el proceso de apertura del orificio y en servicio, y las juntas suelen fallar debido al agrietamiento o deformación local de los tallos de bambú. En el proceso de construcción, es difícil asegurarse de que los orificios de los pernos de varios postes de bambú estén en línea recta. Aunque el diámetro de los pozos se puede ajustar, este tratamiento puede causar fácilmente errores mayores y reducir la fuerza de las articulaciones.

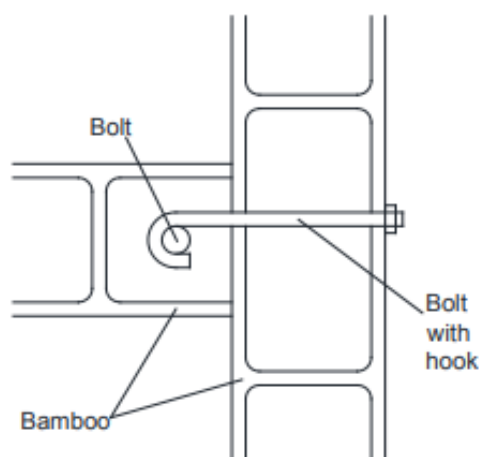


Figura 4.26: Formas simples de junta atornillada

Fuente: Adaptado de [1]

Además, en el proceso de uso, debido a que los pernos y las tuercas no pueden encajar con la caña de bambú redonda, la junta puede crear espacios y aflojarse gradualmente, y los pernos y tuercas pueden sufrir óxido y envejecimiento en el estado natural, lo que puede conducir a conexiones poco fiables, lo que afecta a la estabilidad de la estructura. Además, el uso de pernos requiere una buena comprensión del diseño estructural.



Figura 4.27: Unión atornillada con gancho [1]

Fuente: Adaptado de [1]

Juntas de elementos de acero y placas de acero

Las uniones conectadas por miembros de acero están formadas por pernos, ganchos de refuerzo, tubos de acero, abrazaderas de manguera etc., que tienen las características de conexión fuerte, montaje y desmontaje conveniente, y se puede aplicar

a la conexión de varias formas.

Se compone por un tubo de acero en forma de T. El bambú se inserta directamente en la tubería de acero y luego se fija mediante pernos para lograr la conexión entre componentes. La tubería de acero hace que los componentes sean integrales para que puede mejorar el rendimiento de la articulación. Sin embargo, debido a que el tamaño de la tubería de acero prefabricada es fijo y el diámetro del bambú crudo es difícil de unificar, es necesario cortar el bambú para que coincida con el interior diámetro de los tubos, que no solo limita el rendimiento del bambú crudo, sino que también aumenta la dificultad de construcción. La Sig. Figura muestra un miembro de acero prefabricado común que puede conectar múltiples tallos de bambú. Cada tubo de acero en el miembro de acero se inserta en el interior del poste de bambú, luego el bambú y la tubería de acero interior se fijan mediante dos juegos de tornillos y tuercas. Sin embargo, debido a la diferencia entre la forma de la tubería de acero y la forma interna del bambú crudo, la tubería de acero y el bambú no se puede unir de cerca. La posición relativa de los dos ha ido cambiando, lo que ha dado lugar a frecuentes cambios en los pernos de la carga principal. Cuando la carga es grande, la pared de bambú es fácil de destruir.



Figura 4.28: Junta de miembro de acero

Fuente: Adaptado de [\[1\]](#)



Figura 4.29: Tubería de acero en forma de T

Fuente: Adaptado de [\[1\]](#)



Figura 4.30: Forma común de junta de elementos de acero

Fuente: Adaptado de [1]



Figura 4.31: Jaula de metal multicapa

Fuente: Adaptado de [1]

El equipo de Studio Cárdenas [44] diseñó una jaula de metal multicapa para conectar vigas y columnas cuando la construcción de la residencia de bambú en el municipio de Baoxi, Longquan, provincia de Zhejiang. La jaula de metal está compuesta por placas y pernos de metal multicapa. La distancia entre las placas de metal se puede ajustar mediante nueces para adaptarse a diferentes tamaños de bambú crudo. Esta articulación daña menos el propio material y evita taladrar agujeros en el bambú tanto como sea posible. Además, hay un cojín elástico en la placa de metal, que no solo puede aliviar la extrusión de miembros de acero en el bambú, sino que también aumenta la fricción para reducir el deslizamiento y la rotación del bambú.

Morán [45] propuso tres tipos de juntas de bambú que pueden transmitir momento. El cuerpo de las tres articulaciones consta de cinco pares de abrazaderas de acero ligero apretadas alrededor de los culmos, que están conectados con ángulos de acero y platos en diferentes configuraciones. A través de la monotonía estática y pruebas cíclicas, se encuentra que el confinamiento de las abrazaderas de acero en los miembros de bambú evita efectivamente agrietamiento prematuro en las articulaciones. En comparación con las articulaciones de boca de pescado tradicionales y con inyección de mortero, la rigidez y la resistencia promedio de estas tres uniones aumentan en al menos un 29 % y un 250 %. Los bucles de histéresis con regiones pinzadas de las tres juntas son similares a los de las juntas de madera, ya que el deslizamiento de las abrazaderas de acero provoca la degradación de la rigidez, pero sin degradación de la resistencia.

Paraskeva consideró la influencia de la distancia final y la restricción de las abrazaderas de manguera en la junta actuación. Los resultados de la prueba muestran que el confinamiento transversal proporcionado por las abrazaderas de manguera puede evitar el comportamiento de rotura frágil en la junta [46]. Combinado con una distancia final adecuada, la fuerza y la ductilidad de la articulación se puede mejorar significativamente.

Las juntas conectadas por la placa de acero son placas de acero perforadas en múltiples direcciones en un miembro central de acero, que se forma conectando con bambú a través de pernos, arandelas metálicas, abrazaderas, hubs, etc. Sonar et al, ha demostrado mediante cálculos teóricos y experimentos que la eficiencia conjunta aumenta debido a la provisión de férulas internas [1].

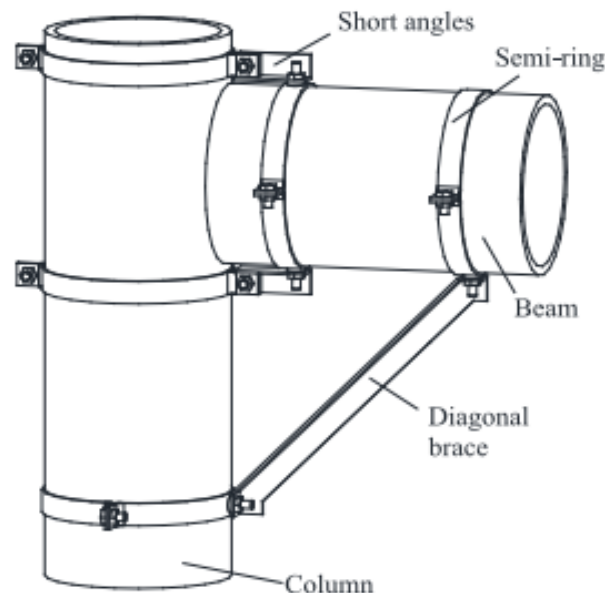


Figura 4.32: Método de unión de Moran

Fuente: Adaptado de [1]



Figura 4.33: Junta de placa de acero

Fuente: Adaptado de [1]

4.2. Marco conceptual

El bambú como material de construcción: El bambú es uno de los materiales usados desde la más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar. En el mundo de plástico y acero de hoy, el bambú continúa aportando su centenaria contribución y aun crece en importancia. Gran parte de la humanidad utiliza a diario el bambú debido a que se representa como una alternativa ante materiales más costosos y tal vez a un futuro su utilización sea de forma masiva, como fuente de energía y reemplazo de madera de árboles por tratarse de un material fácilmente renovable [47].

Guadua angustifolia kunth: Durante siglos, el bambú ha sido utilizado en la vida cotidiana de diferentes culturas por todo el mundo. Una planta, tipo gigantesca y extraordinaria, conocida como *Guadua angustifolia* 'Kunth', es considerada una de las 20 mejores especies de bambú en el mundo. En 1822, el botánico alemán Kunth describió a la *Guadua* como un género segregado del asiático, *Bambusa*. Kunth usó la palabra indígena "guadua" (hoja estrecha), que era el nombre dado a este bambú entre las comunidades nativas de Colombia y Ecuador [48].

Flexión: Es el esfuerzo resultante de aplicar fuerzas perpendicularmente al eje principal del elemento que tienden a doblarlo. La flexión produce compresión en la parte cóncava del elemento y tracción en la opuesta, la convexa [49].

Esfuerzo: Los esfuerzos son el conjunto de fuerzas internas a las que está sometido un cuerpo a consecuencia de las sollicitaciones o acciones que actúan sobre él. Estas fuerzas internas son el resultado de la interacción de unas partículas del cuerpo sobre las otras [49].

Compresión: Presión a que está sometido un cuerpo por la acción de fuerzas

opuestas que tienden a disminuir su volumen [49].

Tracción: Un elemento trabaja a tracción, o está sometido a un esfuerzo de tracción cuando fuerzas con la misma dirección y de sentidos contrarios tienden a estirarlo [49].

Culmo: El culmo originalmente se refiere a un falso tallo de cualquier tipo de planta. Deriva de la raíz latina culmus, y específicamente se refiere a tallo encima de la tierra o área de pasto y ciperáceas [50].

Conexión: Una conexión (del latín connexio) es un enlace o una atadura que une una cosa con otra. El término nombra a la acción y efecto de conectar (unir, enlazar, establecer relaciones) [51].

4.3. Marco normativo

El marco normativo aplicable a las acciones realizadas durante la ejecución del proyecto está motivado y fundamentado básicamente en los siguientes lineamientos:

Norma	Descripción	Vigencia
NSR-10 Título G	Estructuras de madera y estructuras de guadua. se encuentran las normas y requisitos para su uso como material de construcción.	Vigente
NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525 - 2007	Esta norma especifica los métodos de ensayo para evaluar las propiedades físicas y mecánicas características de la Guadua angustifolia Kunth.	Vigente
NTC 5407:2018	Esta norma establece los requisitos mínimos a seguir para la elaboración de uniones en la construcción de sistemas estructurales utilizando Guadua angustifolia Kunth.	Vigente

Cuadro 4.1: Marco normativo

Capítulo 5

Estado del arte

En este ítem fueron contempladas en su mayoría investigaciones a nivel nacional. Tomados de los repositorios de diferentes universidades analizando las tesis y los artículos publicados en estos.

En el Documento de Niño [52] se pretende determinar la resistencia a tensión de una unión empernada en guadua utilizando un material de relleno diferente al determinado en el Reglamento NSR-10, ya que en la actualidad carecen estudios con información de materiales de relleno alternativo en estructuras de guadua. Partiendo del procedimiento y requisitos solicitados en el reglamento NSR-10 Capitulo G-12, se realizaron ensayos para determinar la resistencia a tensión de una unión en guadua con corte diagonal, con elementos conectores (varilla y pernos), sustituyendo el mortero de cemento por polipropileno de alta resistencia, pretendiendo determinar que este tipo de unión cumple los requerimientos de diseño del reglamento. Se evidencia que se logra Determinar la resistencia admisible a tensión en uniones empernadas de estructuras en guadua, utilizando polipropileno de alta resistencia como material de relleno para un tipo de conexión específico

En la investigación de jaramillo y sanclemente [3] se trata de determinar la resistencia última en uniones de guadua con diferentes ángulos por tal motivo se desarrollaron uniones con variaciones angulares desde los 45° hasta los 90° , analizando los tipos de falla producida tanto en tracción como en compresión con el objetivo de determinar cuál es la unión óptima en construcción de estructuras en guadua.

En el documento de Gomez y Fonseca [53] se desarrolló una unión que evite el corte paralelo a las fibras de la guadua generado entre las conexiones con perforación y la pared del canuto. La unión propuesta se enfoca en mejorar la resistencia de las estructuras en guadua evitando la perforación y la aparición de fisuras, por ello se utiliza un de tipo abrazadera metálica que envuelve el extremo de cada guadua ajustándola con dos tornillos, no requiere perforación, con opción de direccionarla en diferentes ángulos según el diseño de la estructura; cada unión tiene de dos a tres abrazaderas esto depende de la necesidad. Las uniones de tipo de abrazadera tubular y rígida ayudarían a transmitir los esfuerzos y cargas de una forma eficiente proporcionando mayor resistencia a la estructura.

El diseño de la unión se definió como un tipo de abrazadera ya que trabaja como una fibra radial en el exterior de la guadua y a la vez evita que sea perforada. Se evidencio que uno de los problemas que tienen las uniones actuales son los diferentes ángulos que se pueden llegar a utilizar en una estructura como las reticuladas planas y las espaciales, en este caso se combinan diferentes tipos de uniones y métodos para lograr construirlas, se evidenció que estos procesos toman más tiempo debido a su complejidad, fue entonces cuando se decidió unir dos abrazaderas que no sean paralelas ni fijas, sino que puedan girar a 360° y que además se pueda ajustar al ángulo requerido para lograr esto se implementó un tornillo y dos tuercas que cumplen con un sistema de giro y ajuste [53].



Figura 5.1: Unión articulada

Fuente: Adaptado de [53]

En el estudio de conexiones entre una columna y su fundación se evalúa el comportamiento de una conexión entre una columna de *Guadua Angustifolia* y su cimentación, con el fin de evaluar si se puede utilizar para un sistema estructural basado en pórticos resistentes a momentos que contribuyan a la rigidez y resistencia frente a fuerzas horizontales o no, y también para proporcionar una base para un diseño adecuado de este tipo de conexiones. En donde se evidencio que todas las configuraciones para la conexión evaluadas en este estudio pudieron restringir, al menos parcialmente, la rotación en la parte inferior de una columna de *Guadua Angustifolia*. Se encontró que la rigidez se degradaba solo después del 80 % de la resistencia máxima de la conexión. Sin embargo, el rango de momentos en el que la conexión puede comportarse como rígida, depende de los componentes que la conforman. También que el uso de pernos longitudinales no proporciona resistencia adicional a la conexión con pernos transversales; en cambio, lo disminuye y provoca un comportamiento menos dúctil durante la falla [54].

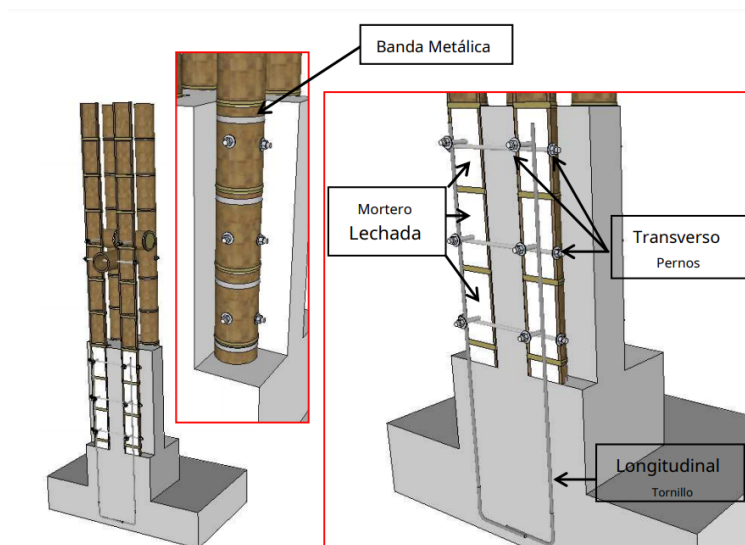


Figura 5.2: Conexión columna a cimentación

Fuente: Adaptado de [54]

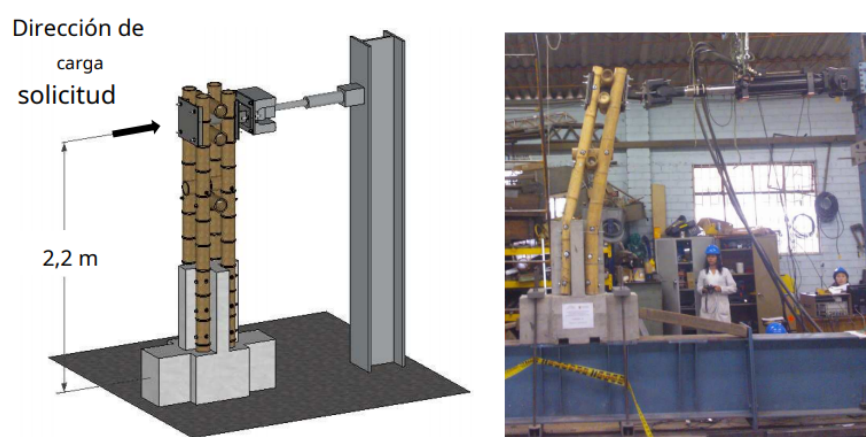


Figura 5.3: Prototipo conexión

Fuente: Adaptado de [54]

El estudio diseño y análisis de una estructura de techo de bambú autoportante con conexiones flexibles investiga una estructura de techo de bambú móvil con conexiones flexibles. El sistema estructural ultraligero desarrollado, construido con marcos espaciales modulares, rejillas pantográficas extensibles, juntas textiles en cuerdas de poliéster y biocomposites, es capaz de sostenerse por sí mismo. Las conexiones flexibles articuladas prefabricadas (HFC), diseñadas para la estructura, permiten un mecanismo desplegable, libre de tensiones de torsión en las barras de bambú. Describe el comportamiento mecánico de una estructura de techo de bambú autoportante móvil con conexiones flexibles y proponer un borrador de pautas para esta tipología de diseño arquitectónico [43].



Figura 5.4: Conexión flexible

Fuente: Adaptado de [43]

En el estudio del comportamiento estructural y diseño de conexiones de madera con pasadores y placas ranuradas de compuesto de bambú, se investigó el comportamiento de cizallamiento/flexión de las clavijas BC con 12 y 16 mm, se determinó la resistencia de empotramiento de las placas BC con varios porcentajes de capas transversales y se realizaron pruebas en uniones a gran escala, es decir, con encolado - largueros de madera laminada, placas internas BC y acero, así como tacos BC y se muestra que pueden usarse en estructuras portantes. Las placas BC con una proporción aproximada del 10 % de capas cruzadas son las más prometedoras para las conexiones probadas aquí. La capacidad de carga se puede predecir usando las reglas de diseño de EN 1995-1-1 [53] usando resistencias efectivas a la flexión de los pasadores determinadas apropiadamente. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para aplicar con éxito el BC en estructuras de madera [55].

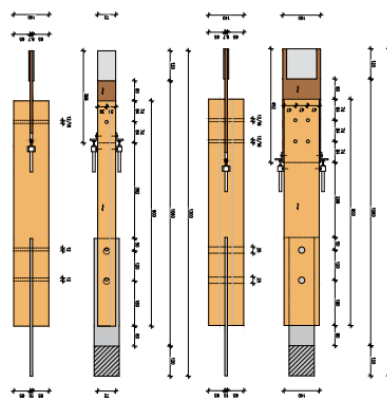


Figura 5.5: Figura 6. conexiones de madera con pasadores y placas ranuradas de compuesto de bambú

Fuente: Adaptado de [55]



Figura 5.6: Conexiones de madera con pasadores y placas ranuradas de compuesto de bambú

Fuente: Adaptado de [55]

En el Estudio experimental y teórico sobre propiedades de unión entre barras de acero y Bamboo Scrimber. Para verificar la viabilidad de las vigas compuestas de malla de bambú reforzadas (RBSC) de nuevo diseño utilizadas en la construcción de edificios, se investigaron las propiedades de unión entre la barra de acero y la malla de bambú mediante pruebas anti-tracción. Los resultados indicaron que las propiedades mecánicas anti-tracción eran significativamente relacionado con el diámetro, la forma del hilo y la profundidad enterrada de la barra de acero, formando la densidad de la malla de bambú, así como el tratamiento térmico del haz de bambú [56].

Li y Zhou [57] presentaron una nueva conexión tipo clavija LBL. La atención se centra en las investigaciones experimentales de empotramiento y pruebas de conexión de un solo pasador bajo carga lateral. La prueba de empotramiento se realizó para estudiar la capacidad portante y también para obtener la resistencia de empotramiento para estimar la capacidad de conexión. El modo de falla de la prueba de conexión bajo carga lateral fue el rendimiento de la clavija con dos bisagras de plástico, que era el mismo que el modo IV del EYM. El comportamiento global fue un comportamiento elástico casi lineal, y la falla fue frágil.



Figura 5.7: Unión entre barras de acero y Bamboo Scrimber

Fuente: Adaptado de [56]

Este artículo se centra en una revisión del progreso de la investigación de conexiones en estructuras de bambú diseñadas. Se presenta un estudio sobre la resistencia de incrustación y el rendimiento de las uniones atornilladas, incluidos los métodos de cálculo descritos con una propuesta para el desarrollo futuro de estándares adecuados para las características de los materiales de bambú diseñados. En segundo lugar, se introduce la investigación sobre juntas de carpintería, a saber, juntas de mortaja de espiga, juntas de clavos y juntas de placas de armadura. En la Revisión de conexiones para estructuras de bambú diseñadas. Este artículo se centra en una revisión del progreso de la investigación de conexiones en estructuras de bambú diseñadas algunos de las investigaciones que nombran en esta revisión son las siguientes:

- Trayer realizó pruebas de compresión axial en uniones atornilladas. Se descubrió que el rendimiento de las uniones atornilladas se veía afectado por la interacción entre la flexión de los pernos y el aplastamiento de la madera. En 1949, Johansen presentó el Modelo de rendimiento europeo (EYM) para predecir la resistencia de las uniones atornilladas, que consideraba que la resistencia de las uniones atornilladas se veía afectada principalmente por dos factores: la resistencia a la flexión de los pernos y la resistencia de empotramiento de la madera. McLain y col. y Soltis et al. validaron la aplicabilidad de EYM y la perfeccionaron para determinar el límite elástico del conector dentro de un rango de precisión específico. En 1991, la teoría del rendimiento se introdujo en el código de diseño de estructuras de madera en los Estados Unidos para sustituir el método de diseño empírico anterior. La distancia final seleccionada, el grosor del miembro principal y el diámetro del perno como factores de influencia para estudiar la capacidad de carga de la junta de un solo perno. Se encontró que la rigidez inicial, la rigidez de fluencia, la carga de fluencia,

la carga de rotura y la ductilidad de la junta se vieron afectadas en diferentes grados por los tres factores. La carga última disminuyó al aumentar la distancia del extremo o el diámetro del perno, pero aumentó al aumentar el grosor del miembro principal.

- Zhang y col. estudió la capacidad de carga y el modo de falla de las uniones atornilladas. Los resultados del experimento mostraron que el miembro principal y los pernos se destruyeron al mismo tiempo, lo que indicó que las juntas tenían buenas propiedades mecánicas generales y podían asegurar la transmisión efectiva de la fuerza de corte. Zhong y col. realizó un estudio experimental sobre el comportamiento a la compresión de uniones atornilladas con férula de acero. Se analizaron los efectos del grosor del tablero y el diámetro del perno sobre la rigidez, la carga de fluencia y el modo de falla. Se encontró que los modos de falla de las juntas se vieron afectados tanto por el diámetro del perno como por el espesor de la tabla de bambú.
- Debije estudió las propiedades mecánicas de las uniones atornilladas LBL-acero-LBL a través de una gran cantidad de experimentos, y observó una variedad de modos de falla. Dai estudió las propiedades mecánicas de uniones de un solo perno en paralelo y perpendicular a la dirección de la fibra de PBSL con la distancia al final y la distancia al borde como factores de impacto. Los resultados mostraron que los modos de falla de las uniones de un solo perno se pueden dividir en dos tipos. La primera fue la falla controlada por la distancia final o la distancia al borde. Dentro de un cierto rango, la carga final de materiales aumentó con el incremento de la distancia final o la distancia al borde. El segundo fue el fallo controlado por la resistencia del material. Los agujeros en las muestras se agrandaron cuando se dañaron.
- Wang realizó en primer lugar 12 grupos de uniones monoperno con férulas de acero bajo tensión uniaxial a temperatura ambiente. Se estudiaron los efectos del espesor del bambú, el diámetro de los pernos, la distancia de los extremos y el número de pernos sobre la capacidad de carga de las juntas. Los resultados de la prueba mostraron que cada variable tenía diferentes grados de influencia sobre la capacidad de carga y el modo de falla de las juntas
- Zhou y col. propusieron una junta de disipación de energía de bambú/estructura de madera. Se estudiaron las propiedades mecánicas de la articulación bajo carga cíclica. Los resultados mostraron que el espesor de la columna de acero hueca tuvo un efecto significativo sobre la capacidad de disipación de energía y la resistencia. La falla de la articulación fue causada por el pandeo en la compresión.

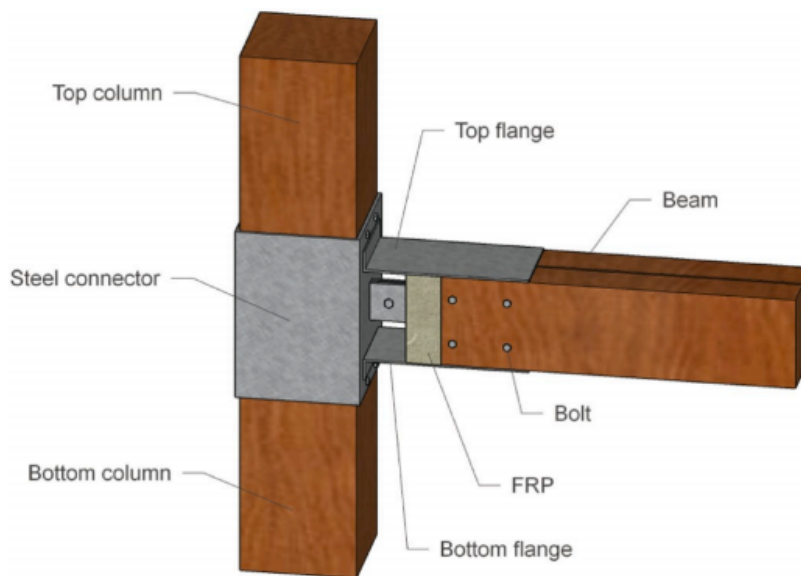


Figura 5.8: Método de unión Zhou

Fuente: Adaptado de [58]

- Huang y col ropusieron una forma de junta para conectar vigas de bambú diseñadas y columnas de acero. La junta está compuesta por una bisagra de acero, soportes de acero y panel de disipación de energía (EDP).

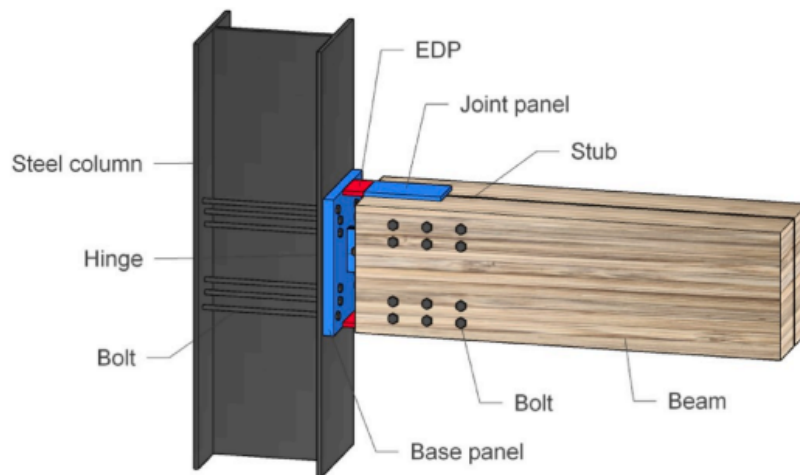


Figura 5.9: Método de unión de Huang

Fuente: Adaptado de [58]

- Sinha. estudió la capacidad portante lateral de la conexión del borde y la conexión de la placa de LBL-OSB mediante prueba de carga estática. Los resultados mostraron que la capacidad de carga de las uniones de clavos LBL-OSB es similar a la del clavo convencional fir-OSB [58].

En otro artículo de revisión llamado Revisión sobre conexiones para estructuras de bambú originales también se encontraron algunos estudios como los que se mencionan a continuación:

- Hu investigó las propiedades mecánicas de las juntas atornilladas reforzadas con mortero de alta resistencia. Los resultados revelaron que las uniones atornilladas reforzadas con cemento motar podrían mejorar significativamente la capacidad de carga. Sobre la base de los resultados de las pruebas de laboratorio, se derivó una fórmula teórica.

Correal estudiaron la resistencia de incrustación de juntas inyectadas con mortero a través de experimentos. Se constató que la resistencia a la compresión del mortero de cemento juega un papel decisivo en la capacidad portante de las juntas.

Fu diseñó una especie de junta, en la que primero se insertaba el manguito de acero prefabricado en la cavidad del bambú crudo, luego se inyectaba el mortero de cemento entre el manguito y la pared de bambú, y finalmente se sujetaba la junta con anillos de acero. Los resultados de las pruebas de tensión y compresión mostraron que la junta tenía buena ductilidad y alta resistencia, y podía transferir eficazmente la carga axial. Cabanas diseñó una conexión ortogonal de perno de argolla de acero con relleno de mortero con un corte en forma de boca de pez, y probó la conexión bajo cargas de flexión, corte y cíclicas. Los resultados indicaron que el relleno de mortero de cemento aumentó la capacidad de corte de la conexión y evitó con éxito la falla local de división del bambú a pesar de duplicar el peso de la conexión.

- Inoue propuso una junta que usaba una tira de bambú para rellenar y un conector de bambú para conectar (a). Los resultados de la prueba indicaron que la junta mostró una alta rigidez hasta cerca del pico de carga, y la junta fue finalmente dañada por la extracción del conector de bambú debido a la falla del adhesivo. también propuso una junta que consta de anillos de acero y copa con yeso (b). Los resultados de la prueba mostraron que el efecto de fricción entre el bambú y el anillo de acero no se puede ejercer por completo debido a la presencia del espacio, y la unión finalmente fue destruida por la dislocación del anillo de acero y la superficie del bambú [1].

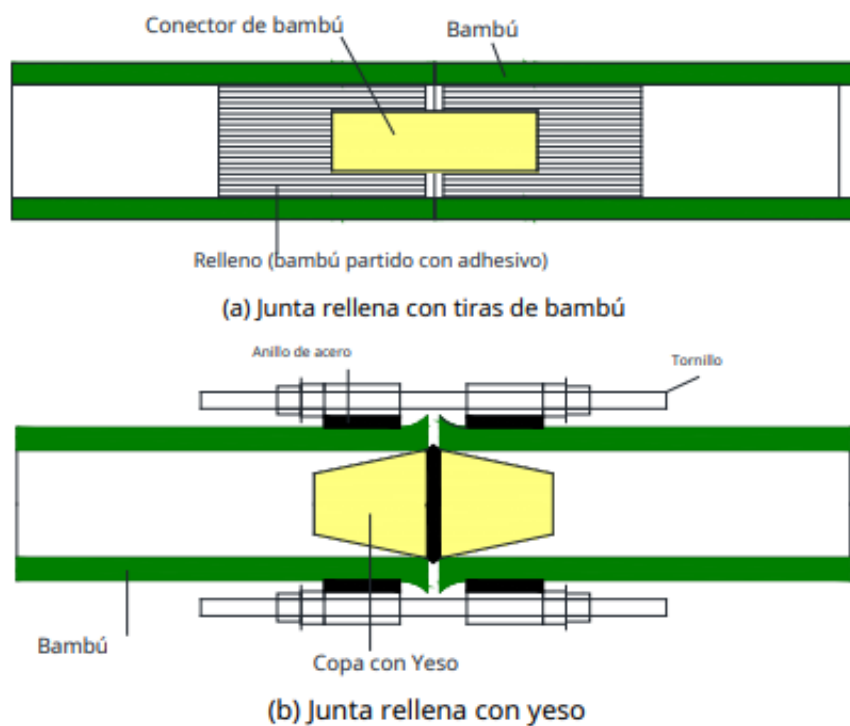


Figura 5.10: Figura 10 Junta rellena con yeso y tiras de bambú

Fuente: Adaptado de [\[1\]](#)

Capítulo 6

Objetivos

6.1. Objetivo general

Desarrollar un documento de revisión respecto al comportamiento mecánico de las conexiones en guadua para mejorar el comportamiento en las estructuras en Colombia.

6.2. Objetivos específicos

1. Identificar los artículos que estén directamente relacionados con los distintos tipos de conexiones en estructuras en guadua a partir de una ecuación de búsqueda.
2. Analizar los estudios de las diferentes conexiones encontradas en la ecuación de búsqueda.
3. Elaborar una discusión de acuerdo con el estado del conocimiento en la literatura respecto al comportamiento mecánico de las conexiones en guadua.

Capítulo 7

Alcances y limitaciones

7.1. Alcances

El propósito de este trabajo es recopilar y analizar el estado de conocimiento en la literatura respecto al comportamiento mecánico de las conexiones en guadua para mejorar el comportamiento en las estructuras en Colombia.

7.2. Limitaciones

No se desarrollarán pruebas de laboratorio debido a temas de tiempo con el que se cuenta y a la contingencia sanitaria provocada por el nuevo COVID-19. Las visitas a campo para visualizar las conexiones utilizadas en algunas construcciones no se pudieron realizar ya que por la contingencia sanitaria que atraviesa el país en estos momentos no fue posible conseguir permisos en las obras debido a que se encontraban suspendidas.

Capítulo 8

Metodología

Teniendo en cuenta el alcance de la investigación, se evidencia un enfoque metodológico investigativo que permite obtener información real y medible sobre el comportamiento mecánico de las conexiones en guadua para mejorar el funcionamiento de las estructuras en Colombia.

Se desarrolla una investigación descriptiva, se identifica, determina y relaciona información recopilada sobre conexiones en guadua.

La investigación se desarrolla en su etapa inicial con base en una revisión bibliográfica y documental con respecto al diseño y a la identificación de los diferentes tipos de conexiones en guadua. Por lo tanto, esta investigación se divide en tres fases que se relacionan a continuación.

Objetivo	Descripción de la metodología
Identificar los artículos que estén directamente relacionados con los diferentes tipos de conexiones en estructuras en guadua a partir de una ecuación de búsqueda.	Inicialmente se determinan las bases de datos más importantes en la ingeniería civil, donde es necesario hallar artículos científicos que aporten a esta investigación. Se planteó una ecuación de búsqueda con el fin de filtrar con palabras claves de acuerdo a lo que se desea investigar. posteriormente mediante el software VOSviewer se realiza un filtro para determinar a nivel global los autores y regiones en donde se han estudiado con más frecuencia los diferentes tipos de conexiones a analizar teniendo en cuenta números de co-ocurrencias de los artículos seleccionados, año de publicación de los artículos y frecuencia con que se han citado dichos artículos.

Sigue en la página siguiente.

Objetivo	Descripción
Analizar los estudios de las diferentes conexiones encontradas en la ecuación de búsqueda.	En esta fase se identifican los artículos que aportan a esta investigación para luego ser analizados y clasificados en los diferentes tipos de conexiones encontrados en los documentos investigados. Se procede con el análisis de cada uno de los tipos de conexiones encontrados, el cual tendrá el enfoque más centrado en los estudios y resultado de las propiedades mecánicas de conexiones, con esto se apoyará la investigación para determinar los tipos de conexiones que cumplirán con un mejor funcionamiento en tipos de estructuras determinadas.
Elaborar una discusión de acuerdo con el estado del conocimiento en la literatura respecto al comportamiento mecánico de las conexiones en guadua para mejorar las estructuras en Colombia.	Por último se discute cada una de las conexiones estudiadas en donde de acuerdo al análisis realizado, se determinaran factores como ventajas y posibles desventajas de acuerdo a los métodos de implementación, materiales utilizados que sean de fácil adquisición para cualquier población, herramientas a utilizar y concluir que tipo de conexiones brindan mejores propiedades mecánicas como resistencia ya sea al corte, tracción, flexión, o al cualquier tipo de prueba a la que haya sido sometida cada una de estas uniones identificadas.

Cuadro 8.1: Fases de diseño metodológico

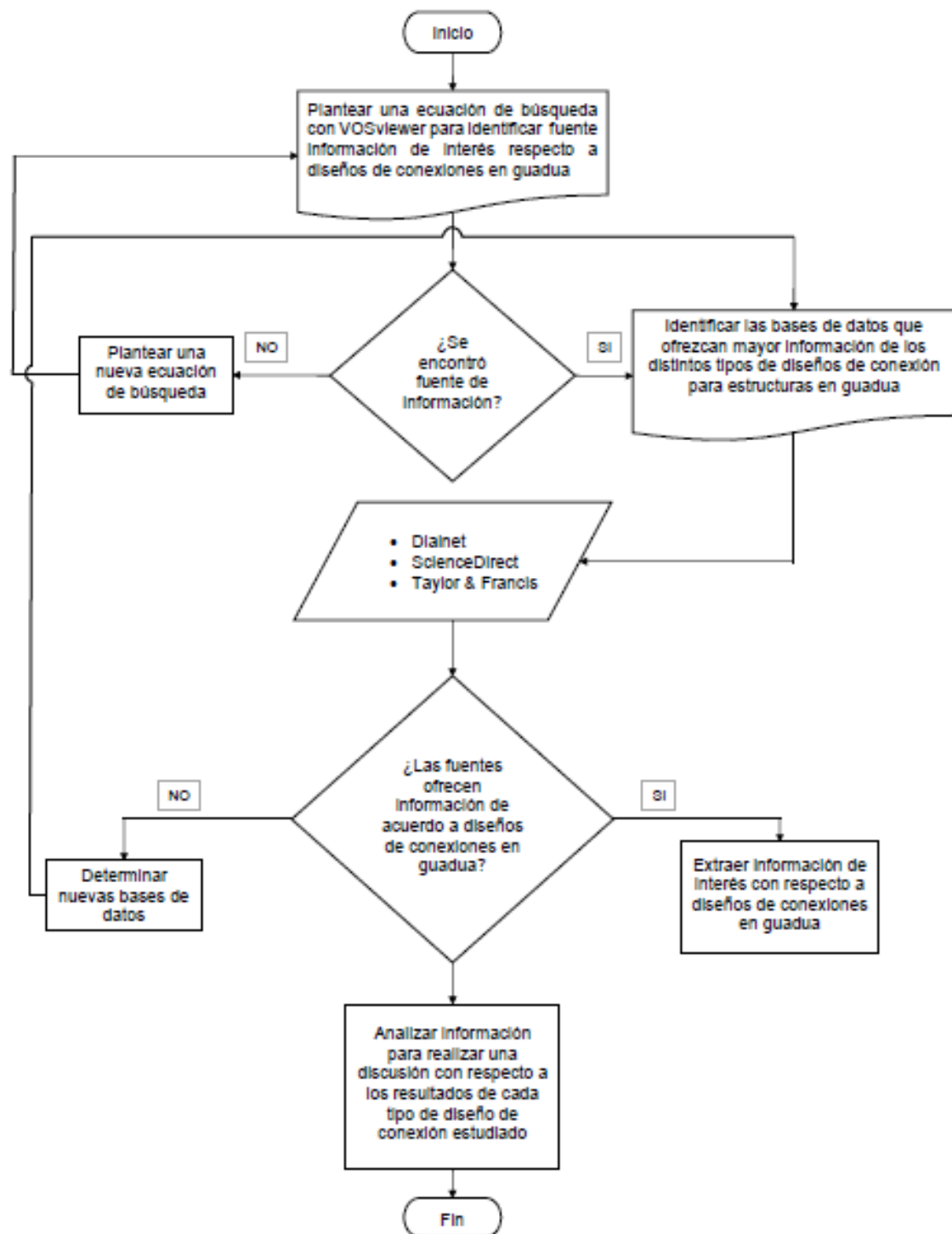


Figura 8.1: Flujograma

Fuente: Propia

Capítulo 9

Fuentes de Información

Para la presente investigación, fue necesario contar con diferentes fuentes y/o bases de datos de donde poder extraer la información necesaria y de interés, acorde a los distintos diseños de conexión en estructuras de guadaña, para el desarrollo de una investigación profunda y certera que permitiera sostener con veracidad lo planteado en este trabajo. Las fuentes de información de donde se extrajo la información son las siguientes mencionadas:

9.1. Dialnet

Dialnet es uno de los mayores portales bibliográficos del mundo, cuyo principal cometido es dar mayor visibilidad a la literatura científica hispana. Centrado fundamentalmente en los ámbitos de las Ciencias Humanas, Jurídicas y Sociales, Dialnet se constituye como una herramienta fundamental para la búsqueda de información de calidad.

Dialnet nació en la Universidad de La Rioja como un proyecto de cooperación interuniversitaria que integraba recursos y servicios documentales y en poco tiempo se convirtió en un referente en el acceso libre a la literatura científica de ámbito hispano. Dialnet constituye un portal que recopila y facilita el acceso a contenidos científicos y eruditos de ámbito hispano y portugués. Los contenidos incluyen diversos tipos de documentos, ya que el proyecto integra fundamentalmente revistas pero también artículos de monografías colectivas, tesis doctorales, libros, etc. Además, Dialnet es un sistema de alertas informativas y una plataforma de alojamiento de contenidos a texto completo. Dialnet es una de las mayores bases de datos de contenidos científicos en lenguas iberoamericanas y cuenta con diversos recursos documentales como artículos de revistas, artículos de obras colectivas, libros, actas de Congresos, reseñas bibliográficas y tesis doctorales [59].

Esta fuente de información cuenta con:

6.669.675 documentos

10.509 títulos de revistas

5.045.925 artículos de revistas

910.822 artículos de libros
1.504.204 documentos a texto completo
486.218 libros
226.710 Tesis doctorales
1.575.243 documentos con resumen

De esta fuente de información se pudieron obtener 5 artículos relacionados con las palabras claves respecto a diseño de conexiones en guadua .

9.2. ScienceDirect

ScienceDirect es una de las mayores fuentes de información para la investigación científica, técnica y médica. Ofrece el texto completo de las revistas científicas que publica Elsevier, así como capítulos de libros, procedentes de más de 2.500 revistas con revisión por pares y de más de 11.000 libros. En total, supera los 9 millones y medio de artículos y capítulos. Con ScienceDirect puede iniciar su búsqueda desde la barra de búsqueda que se encuentra en el margen superior de la página o puede hacer uso de la herramienta de Advanced Search (búsqueda avanzada) si desea hacer búsquedas específicas [60].

Las publicaciones pueden visualizarse en distintos formato:

Por título: Las publicaciones aparecen por orden alfabético.

Por tema: Las publicaciones se clasifican por tema. Cada categoría puede tener a su vez varios niveles. Una misma publicación puede aparecer clasificada en más de una categoría.

Por editorial: Las publicaciones se organizan por editorial.

Sciencedirect ofrece tres tipos de búsqueda Quick Search: Es la búsqueda realizada sobre el texto completo de las publicaciones referenciadas. Basic Search: Es la búsqueda realizada en diferentes partes de la publicación. En el primer campo Término(s), escriba los términos que deben figurar en los documentos encontrados. En el menú desplegable En, seleccione los campos o segmentos en los que debe aparecer los términos: Abstract, Title, Keywords, Authors, Journal Name, References, ISSN, Affiliation, Full Text. En el menú desplegable Origen, seleccione el grupo de publicaciones que desea buscar. En el recuadro Tema, seleccione la clasificación o clasificaciones de temas de la publicación que desea buscar. Seleccione Fechas o seleccione Solo año. Pulse el botón Buscar para iniciar la búsqueda. Advanced Search: Puede incluir nombres de campos (segmentos), caracteres comodín, operadores booleanos y operadores de proximidad para ampliar o limitar la búsqueda. El resultado de la búsqueda se presenta en una pantalla en la que se pueden ordenar los resultados por fecha o por relevancia. Los artículos seleccionados pueden consultarse en forma Summary Plus que incluye Referencias bibliográficas, Extracto, Resumen del artículo, Imágenes en miniatura y Referencias con vínculos de hipertexto. El

artículo en versión Summary Plus aparece como un documento con formato Web por lo que puede situarse en una parte determinada del mismo. El artículo también se presenta en formato PDF, en la que se muestra el artículo tal y como aparece en la publicación original.

De esta fuente de información se obtuvieron 98 bases de datos de donde se extrajo información importante para el trabajo de investigación.

9.3. Taylor & Francis

Traducción del inglés Taylor & Francis Group es una empresa internacional con origen en Inglaterra que publica libros y revistas académicas. Es una división de Informa plc, una editorial y empresa de conferencias con sede en el Reino Unido. La base de datos permite llevar a cabo la búsqueda unificada en la amplia colección de publicaciones de la editorial del mismo nombre, una de las más importantes del mundo. Además, el acceso al documento completo, más allá de la descarga del característico pdf, permite la navegación y lectura interactiva de los artículos, tanto en formato web (HTML) como en pdf, y tanto en un caso como en el otro, con funcionalidades extras asociadas.

Por la importancia y la calidad intrínseca de la editorial y el gran volumen de información al que da acceso, más de 4,5 millones de artículos, parece oportuno incluir en un lugar destacado Taylor and Francis Online en esta serie de recursos académicos para investigadores en Humanidades y Comunicación.

Como en otras ocasiones de esta serie, en primer lugar utilizaremos los tres componentes básicos de los sistemas de búsqueda y recuperación de información para nuestro análisis: Búsqueda avanzada, Página de resultados y registro [61].

Taylor and Francis no proporciona un formulario de búsqueda avanzada. Únicamente, una caja simple, aunque muy amplia, con espacio para búsquedas (relativamente) largas, y el icono inconfundible a su derecha para lanzar la consulta.

Capítulo 10

Análisis de la Información

10.1. Palabras Clave

En la siguiente tabla muestra la concentración de la investigación a nivel mundial identificada por los cuartiles en los que clasifican cada una de las palabras clave más citada extraída de la base de datos Scopus. La ecuación de búsqueda utilizada fue ((guadua) OR (bambú) OR (bamboo)) AND ((conexión) OR (connection) OR (unión)). Mediante el software VOSviewer se extrajo la información del número de veces que aparecen las palabras clave de la tabla 10.1 en la literatura. Con dichos valores se procede a calcular el índice de frecuencia de citación, el cual es un valor que permite identificar la concentración de la investigación en una temática. El valor Q para la palabra más citada "Bamboo.es de 0.165 con lo cual se puede evidenciar que menos de una cuarta parte de las investigaciones más citadas según Scopus utilizan dicha palabra como clave, concluyendo que la investigación a nivel mundial al rededor de las conexiones de guadua o Bamboo no está centrada en el Bamboo como tal sino en derivaciones del mismo como bamboo laminado o características mecánicas de este material. También es importante mencionar que existe una diferencia notable entre la cantidad de artículos que identifican a la guadua (5) y al bamboo (190) como palabra clave.

Palabras clave	Ocurrencias	Índice de Frec. Cita. (Q)
Bamboo	190	0.165
Laminating	24	0.021
laminasted bamboo	22	0.019
Stiffnes	20	0.017
Bamboo structures	20	0.017
Mechanical properties	23	0.020
Structural desing	21	0.018
Composite beams and girders	12	0.010
Building materials	16	0.014
Bolt	20	0.017
Timber	17	0.015
Finite element method	13	0.011
Gluing	12	0.010
Composite structure	11	0.010
Mechanical performance	13	0.011
Concretes	11	0.010
Bearing capacity	10	0.009
Shear walls	12	0.010
Concrete beams and girders	11	0.010
Bending tests	9	0.008
TOTAL	1154	

Cuadro 10.1: Resistencia a la compresion paralela a la fibra [2]

10.2. VOSviewer

Mediante esta aplicación se pudieron filtrar los documentos en las bases de datos. el análisis de palabras clave para ser utilizadas en VOSviewer fue el siguiente ((guadua) OR (bambú) OR (bamboo)) AND ((conexión) OR (connection) OR (unión)). Luego de esto se crea un mapa basado en datos bibliográficos, posteriormente se le un archivo de datos bibliográficos en scopus, luego se realizan diferentes tipos de análisis por filtros, en el que tenemos primero un tipo de análisis por coocurrencia por palabras claves en el que se realiza una visualización network y una visualización superpuesta por periodo de tiempo en años de publicación , segundo un análisis por coautoría donde se revisan los autores y los países con un máximo número de autores por documento de 25.

Una vez seleccionados los archivos que filtró la ecuación de búsqueda se generan los siguientes mapas:

Este primer mapa describe los países en los que más se ha estudiado o más se han publicado artículos relacionados con las palabras claves, como se puede observar, China es el país con mayor número de artículos con estudios a este material (bambú o guadua), Colombia se encuentra en una posición aproximadamente de 4to, esto puede presentarse debido al número de población que se presenta en cada país.

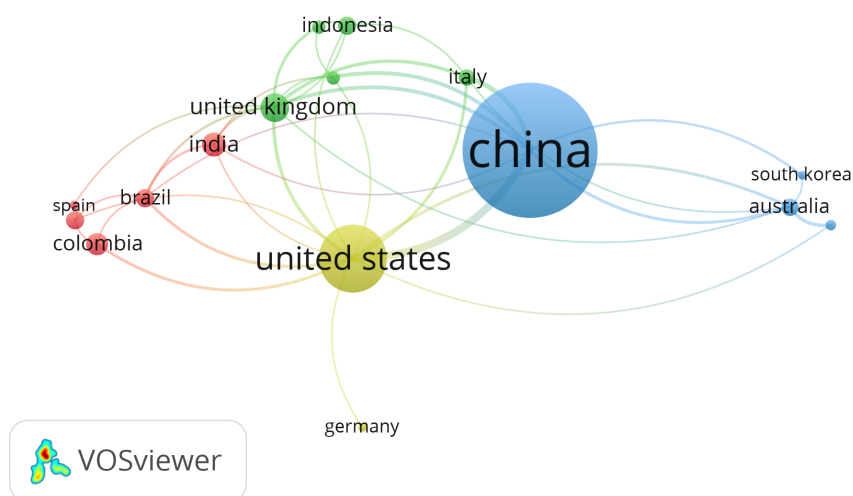


Figura 10.1: Mapa de países con mayor número de citación

Fuente: Adaptado de VOSviewer

En el mapa que se muestra a continuación, se observa los autores que más han realizado publicaciones de artículos con respecto a las palabras claves con las que se filtró en la ecuación de búsqueda.

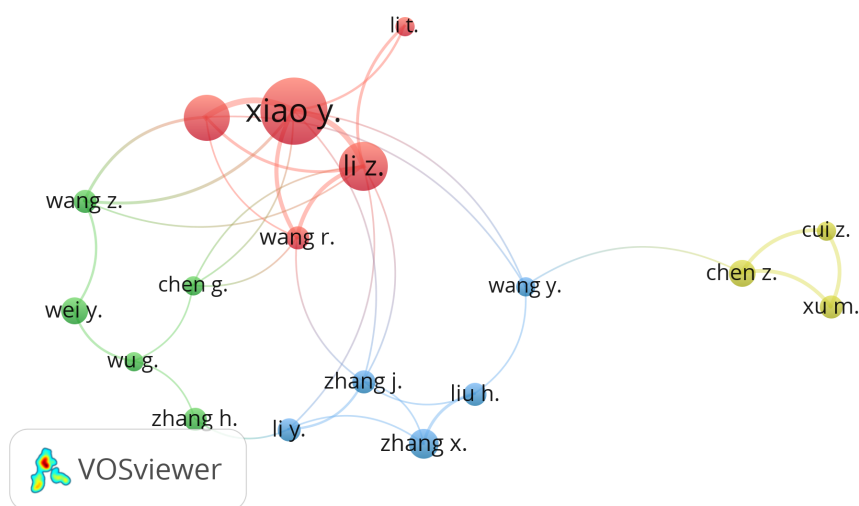


Figura 10.2: Mapa de autores con mayor número de citación

Fuente: Adaptado de VOSviewer

En este siguiente mapa se muestra cuantas veces se repiten las palabras claves en todos los artículos que fueron más citados, en este caso la palabra clave más repetida es el bambú como se puede apreciar en la imagen.

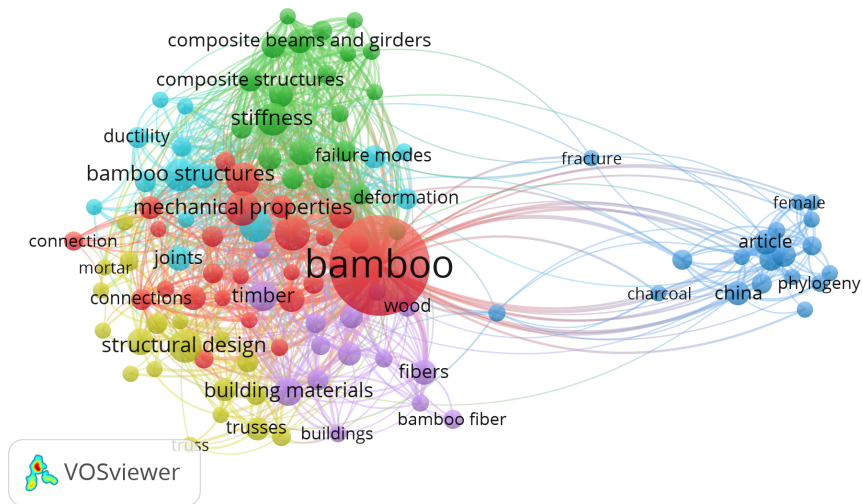


Figura 10.3: Mapa de palabras con mayor número de citación

Fuente: Adaptado de VOSviewer

El siguiente mapa describe cuales son las palabras claves que aparecen en los artículos más antiguo hasta el más actualizado, en donde el color amarillo es el más actual, el verde el que se encuentra en un periodo de tiempo intermedio y violeta, el más antiguo, teniendo en cuenta que el rango de años va del 2012 hasta el 2018.

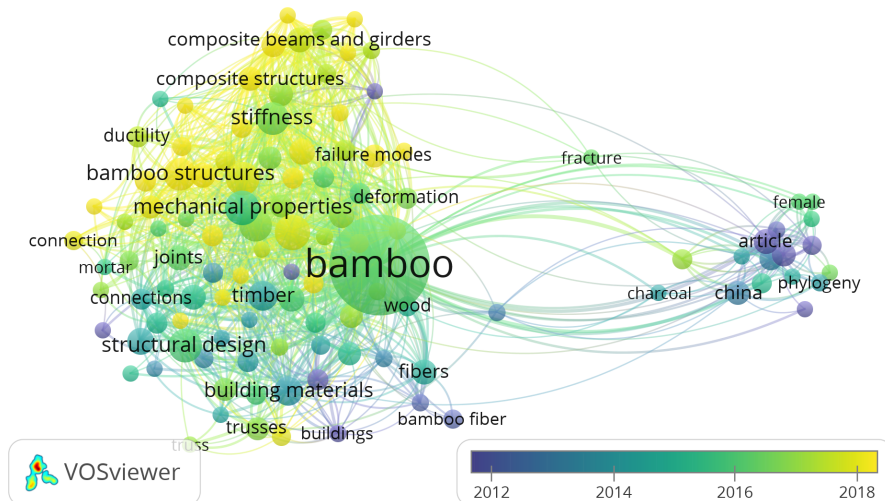


Figura 10.4: Mapa de autores con mayor número de citación cronológica

Fuente: Adaptado de VOSviewer

Capítulo 11

Discusión sobre conexiones en Guadua

De acuerdo con los artículos científicos que arrojó la ecuación de búsqueda se logró extraer diferentes tipos de conexiones las cuales cuentan con características y comportamientos mecánicos específicos y esfuerzos físicos diferentes en cada una de estas conexiones. A continuación, se muestra la tabla de las conexiones encontradas.

Tipo conexión	Descripción	Ref.	País y año
Conexión laminado pegado prensado	Esta conexión consiste en un diseño realizado por el método de los esfuerzos de trabajo, En función de la carga admisible determinada para cada conexión, se define el número de pernos necesarios, espaciamiento entre los mismos, distancias al borde y con ello las dimensiones de las platinas metálicas, teniendo en cuenta los factores de reducción de resistencia por efecto de grupo.	[62]	Colombia 2014.
Unión guadua-polímero recto	Unión recta en un ángulo de 180° que está conformada por polietileno de baja densidad fundido a una temperatura que oscila entre los 180° y 195°C, sujetando la guadua por cada extremo.	[63]	Colombia 2019.
Unión guadua-polímero en L	Unión en L con un ángulo de 90° que está conformada por polietileno de baja densidad fundido a una temperatura que oscila entre los 180° y 195°C, sujetando la guadua por cada extremo, con un pedazo de pared longitudinal de la guadua como refuerzo para garantizar el ángulo durante el conformado de la junta.	[63]	Colombia 2019.

Sigue en la página siguiente.

Tipo conexión	Descripción	Ref.	País y año
Unión guadua-polímero recto	Unión en Y con un ángulo de 120° que está conformada por polietileno de baja densidad fundido a una temperatura que oscila entre los 180° y 195°C, sujetando la guadua por cada extremo, con un pedazo de pared longitudinal de la guadua como refuerzo para garantizar el ángulo durante el conformado de la junta.	[63]	Colombia 2019.
Unión tallo-clavija	consiste en la unión de los tallos de la guadua mediante una clavija en madera sujeta con la ayuda de abrazaderas en metal común.	[64]	- 2019.
Conexión empernada	Este tipo de conexión comprende de la unión entera guadua a cizallamiento doble y pernos de varios diámetros, 3/8", 1/2" y 1/4" mediante el cual se asegura el agarre para conformar la conexión.	[65]	Colombia 2015.
Unión con abrazaderas de acero	Se comprende de la unión entre elementos de guadua sujetas mediante un mecanismo tipo abrazadera en acero (ASTMA36) en forma de semi anillo atornillado	[45]	Colombia 2015.
Unión atornillada reforzada con fibra	Consiste en la unión del material compuesto por tornillos o pernos reforzados con una placa de metal que sujeta ambos extremos del material, Además de los conectores de perno, también se le adiciona mortero de cemento en la parte interior del bambú en la conexión	[66]	Indonesia 2014.
Conexión atornillada de un compuesto de bambú viga en forma de I	Esta conexión consiste principalmente en un compuesto de bambú que lleva como proceso, un laminado prensado del material, dándole una forma vertical a su corte transversal, para luego ser utilizado como estructura y ser unido mediante pernos.	[66]	Estados Unidos 2016.
Conexión en lamina de guadua atornillada	conexión que está conformada por pernos y lamina de acero en cada uno de los extremos de los pernos, brindándole así una mejor área de contacto al material para unirlos.	[67]	Colombia 2014.

Sigue en la página siguiente.

Tipo conexión	Descripción	Ref.	País y año
Conexión combinados de bambú y listones de culmo	El diseño de esta conexión comprende culmos simples para los cordones superior e inferior, elementos de tres lamas para las diagonales finales y elementos de dos lamas para los elementos verticales y diagonales interiores.	[68]	Colombia 2019.
Unión atornillada	En este caso, el diseño consta de la unión entre guadua mediante una placa de acero, en donde la unión es posible solo con dos guadas atornilladas a la placa de acero, para este caso, cada una de las guadas van por cada costado diferente de la placa para ser atornilladas y a su vez soportada conformando la conexión.	[46]	China 2017.
Conexiones estructurales con clavijas en bambú laminado y madera	Esta conexión consiste en un modelo de unión de guadua, el cual pasa por un proceso de laminado prensado, dándole transformación al material, y se une mediante pernos.	[69]	Reino unido 2015.
Conexión atornillada tipo clavija	Este diseño de conexión está conformado por la unión en estructuras de guadua por medio de conectores de acero en forma de T ranurado, diseñados para este tipo de conexión, sujeta mediante pernos en dichos conectores.	[70]	China 2020.
Unión atornillada en forma de T y diagonal	Este tipo de conexión está conformada por la unión entre guadua mediante pernos o tornillos directamente, sin ningún otro tipo de material que le de fortaleza a la conexión.	[2]	Colombia 2004.
Junta de amarre	Consiste en la unión por medio de una cuerda en específico que le brinda un ajuste seguro a la unión, y esta es usada comúnmente según la revisión de literatura.	[1]	China 2019.
Unión de elementos de acero y placa de acero	Son juntas conectadas por medio de miembros de acero, están formadas por pernos, ganchos de refuerzo, tubos de acero, abrazadera de manguera, etc.; que tienen las características de conexión fuerte, montaje y desmontaje convenientes, y se pueden aplicar a la conexión en varias formas.	[1]	China 2019.

Sigue en la página siguiente.

Tipo conexión	Descripción	Ref.	País y año
Unión atornillada	Unión conformada mediante tornillos que unen la guadua ajustándola y brindando una gran rigidez a la conexión.	[1]	China 2019.

Cuadro 11.1: Descripción de conexiones

A continuación, se describirán los diferentes tipos de conexiones a detalle destacando su contribución a las diferentes aplicaciones en la construcción.

La universidad nacional de Colombia realizó un análisis experimental a la conexión de tipo laminado pegado prensado en guadua *Angustifolia Kunth*, en la cual se destacan sus propiedades al ser utilizados en los diseños estructurales de construcciones de vivienda, el éxito de este material está en la cantidad de adhesivo que se utiliza ya que con esto se obtiene un mejor comportamiento del material. Para este ensayo se tuvieron en cuenta las solicitaciones de la norma colombiana de sismo resistencia. Este tipo de unión es ventajoso en el diseño de las viviendas alargando su vida útil ya que atenderán las solicitaciones requeridas impuestas en la etapa de dimensionamiento [62].

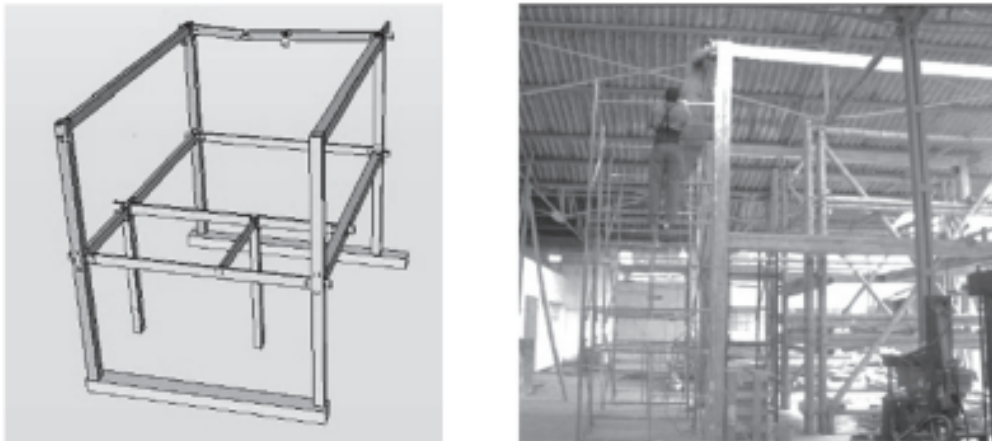


Figura 11.1: Montaje prueba de carga

Fuente: Adaptado de [62]

Otro estudio que se encontró fue el de las uniones en guadua de polietileno de baja densidad en este artículo se estudiaron 3 tipos de conexiones la unión recta, unión en L con un ángulo de 90° y unión en Y. El polímero fue fundido entre una temperatura de 180° y 195° c [63]

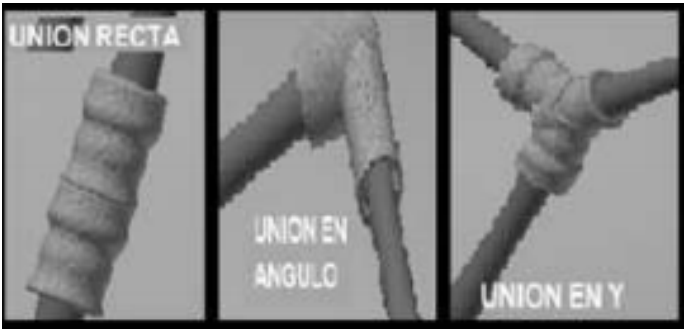


Figura 11.2: Uniones en polímero fundido

Fuente: Adaptado de [63]

Se evidencio en las pruebas que la resistencia y la flexión de estas uniones se ven afectadas por la resistencia de los componentes. en los ensayos se presentó una flexión promedio de 20 cm antes de la ruptura de la unión, para estos ensayos se aplicaron cargas crecientes a 40 cm de la unión. A continuación, se muestra la tabla de resultados.

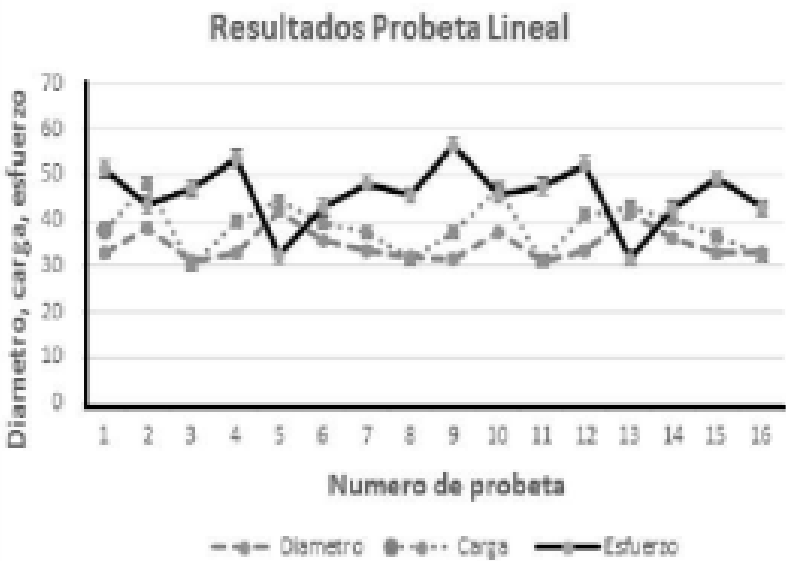


Figura 11.3: Grafica de carga unión recta

Fuente: Adaptado de [63]



Figura 11.4: Grafica de carga unión en Y

Fuente: Adaptado de [63]

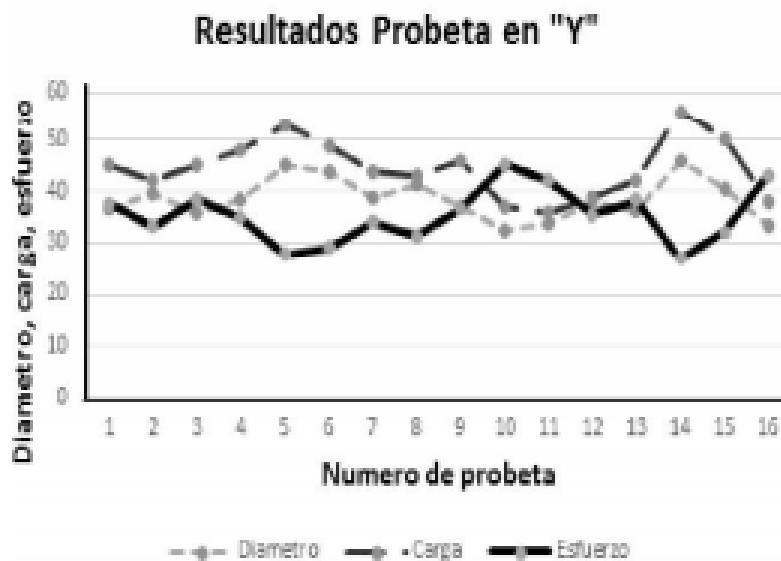


Figura 11.5: Grafica de carga unión en Y

Fuente: Adaptado de [63]

Inicialmente estas conexiones se proponen para ser utilizadas en viviendas, puentes y mobiliarios, pero con los resultados obtenidos estas conexiones solo se recomiendan para el uso de mobiliario y estructuras livianas [63]. Entre los diferentes tipos de conexiones investigados, se encuentra un tipo de conexión interesante, y es la unión tallo clavija, este tipo de unión se compone principalmente por una clavija en madera moldeada a la medida del diámetro interno del culmo de la guadua que se desea unir, reforzadas con abrazaderas para brindar una mejor resistencia y esta-

bilidad a la conexión.

En la siguiente imagen adjunta se evidencia los diferentes diseños para este tipo de conexión:

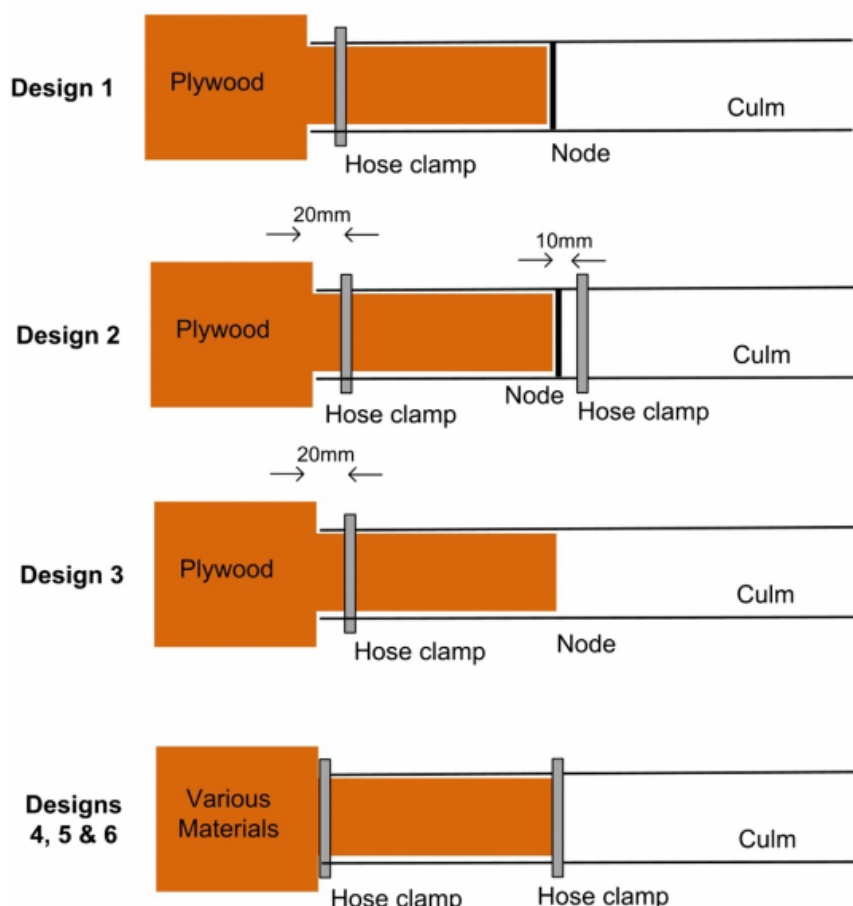


Figura 11.6: Unión tallo clavija

Fuente: Adaptado de [64]

Si bien se puede aclarar, en la presente investigación se pudo analizar que el diseño 6 brinda una resistencia a la flexión de 88.4 MPa y una resistencia al corte de 18.5 MPa, siendo este diseño el más exitoso entre los diferentes diseños a los que se sometieron a pruebas. En promedio, los diámetros internos de este diseño se encuentran a partir los 35.3 mm y los diámetros externos a partir de los 43.5 mm. Aunque en la Figura ??, los diseños 4, 5 y 6 son aparentemente los mismos, la diferencia se encuentra en el tipo de madera que se utilizó para la clavija siendo para el diseño 5 un tipo de madera de mayor resistencia que el que se utilizó para el diseño 4, y para el diseño 6 siendo de mayor resistencia que el del diseño 5 y 4. Es importante tener en cuenta que para este tipo de conexión se recomienda contar con un tipo de madera específica que otorgue una mayor resistencia, ya que cada tipo de madera por naturaleza tiene diferentes propiedades mecánicas, teniendo en cuenta que para este estudio, se consideraron diferentes tipos de madera en orden creciente de acuerdo a su resistencia.

Por una parte, se evidencia una ventaja de este tipo de conexión, y es el material utilizado, ya que es fácil de adquirir y simple de construir, pero también se evidencia una desventaja, y es que cada diámetro de culmo de guadua es diferente uno de otro, lo que atrasa la fabricación de la clavija, ya que esta tiene que moldearse de acuerdo a la medida de cada culmo de guadua que se desea unir [64]. Por otro lado se tiene la conexión empernada, que consiste en la unión entre guadua a cizallamiento doble y pernos de varios diámetros, 3/8", 1/2" y 3/4" mediante el cual se asegura el agarre para conformar la conexión, dentro de esta investigación se encuentra que la guadua utilizada en este tipo de conexión comprende de una edad que oscila entre los 4 y los 5 años, con la cual se obtienen diámetros del material entre los 7 y 14 cm, para este tipo de conexión se utilizaron pernos elaborados con acero SAE1020 de diámetros 3/8, 1/2 y 3/4". En la siguiente figura se demuestra el diseño de la conexión analizada:

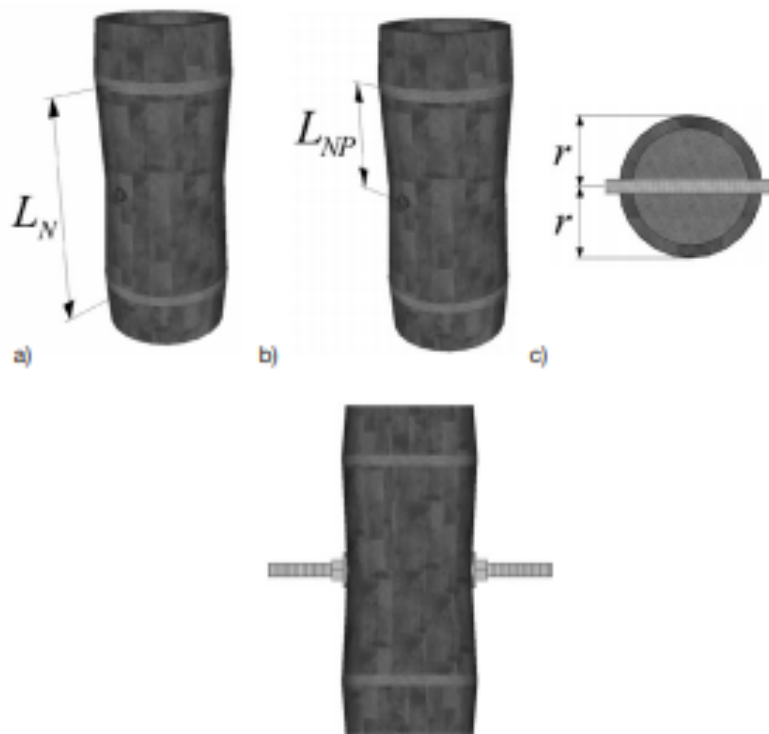


Figura 11.7: Conexión empernada

Fuente: Adaptado de [65]

En donde a) es la longitud entre nudos, (b) es la distancia del perno al nudo y (c) forma de la probeta. En la investigación de este tipo de conexión se encuentran que la resistencia a la compresión paralela (MPa), resistencia al corte paralelo (MPa) y el contenido de humedad (%), tuvieron resultados en promedio de 44.18, 6.99 y 9.92 respectivamente. Para cada rango de diámetro del culmo se ensayaron 10 probetas de conexiones elaboradas para cada uno de los tres diámetros de perno seleccionados (3/8, 1/2 y 3/4"). Las perforaciones se realizaron con una holgura de 1/16", de acuerdo con lo especificado en el reglamento NSR-10. De acuerdo a la investigación,

se tiene que las conexiones en las que se emplean pernos con diámetros menores brindan una mayor resistencia por unidad de área. Aunque se determina que otro parámetro importante que interviene en la resistencia mecánica de la conexión es el diámetro exterior del culmo, ya que este presenta mayores espesores de la pared [65].

Dentro de esta investigación también se analizó la conexión unión con abrazadera de acero, que consta de la unión entre elementos de guadua sujetas mediante un mecanismo tipo abrazadera en acero (ASTMA36) en forma de semi-anillo atornillado, para este tipo de conexión es importante tener en cuenta los diámetros de los semi-anillos con respecto a los diámetros de exteriores de la guadua que se desea unir, ya que estos deben calzar perfectamente para que a la hora de realizar el ensamble de los materiales, estos queden perfectamente sujetos, permitiendo la transferencia de carga desde la guadua a las semi-anillos que la sujetan para obtener un alto nivel de rigidez, garantizando el funcionamiento de la conexión. Para este tipo de conexión, se encontró que estudiaron 3 modelos como se muestran en la siguiente figura:

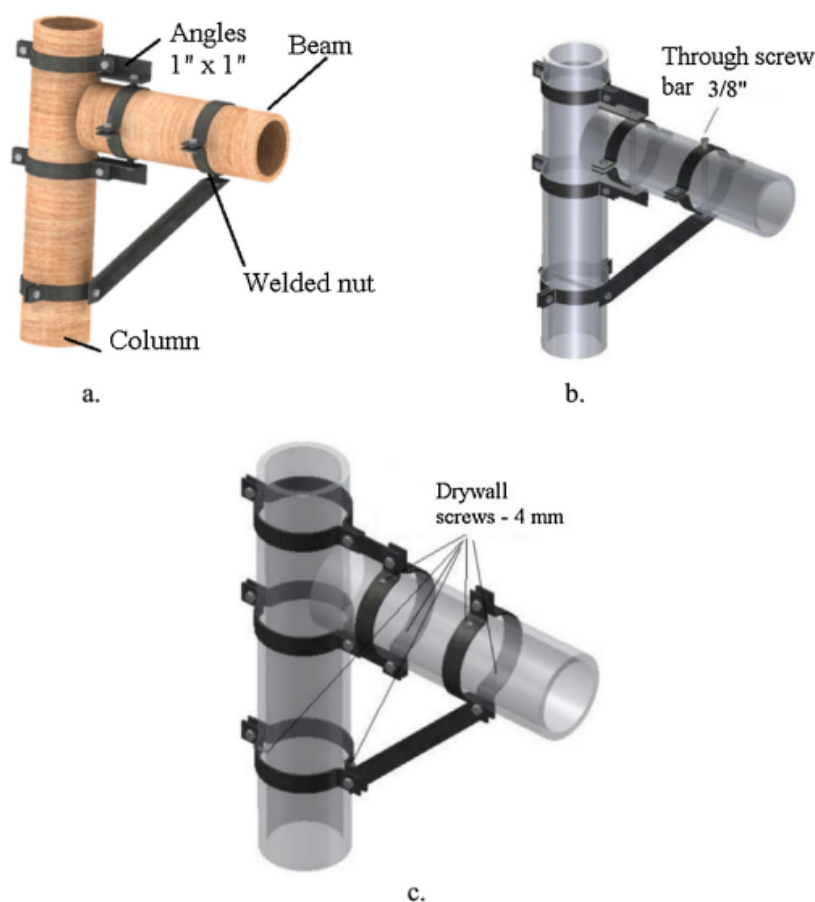


Figura 11.8: Modelos de conexiones de momentos

Fuente: Adaptado de [45]

En donde (a) es la abrazadera simple (SC), (b) es el tornillo pasante (TS) y (c) corresponde a los paneles de yeso. Estos tres modelos fueron sometidos a pruebas

de rigidez en las que la conexión debía superar un umbral de 27,5 kNm/rad. La conexión DW fue capaz de transmitir momentos del 81 % y 86 % con respecto a una conexión ideal para luces de 2 m y 3 m, respectivamente, desempeñándose mejor más del doble que los otros dos modelos evaluados, lo que significa que este modelo está cerca de ser considerado rígida concluyendo ser el tipo de conexión más viable para ser implementado [45].

Otro tipo de conexión analizada dentro de la investigación es la unión atornillada reforzada con fibra, que consiste en la unión del material compuesta por tornillos o pernos reforzada con una placa de metal que sujeta ambos extremos del material, Además de los conectores de perno, también se le adiciona mortero de cemento en la parte interior del bambú en la conexión, dándole mejor resistencia a la conexión. Para este tipo de conexión se consideran dos desventajas importantes. 1) al momento de adicionarle mortero a la unión, se está proporcionando un mayor peso en la estructura 2,5 veces mayor según la investigación. 2) la diferente tasa de actividades de contracción e hinchamiento entre el bambú y el mortero de cemento crea un espacio entre estos dos materiales, lo que hace que actúen de forma independiente. Por estas dos razones, la conexión puede ser cuestionable para ser implementada. En la siguiente figura se ilustra el modelo de la conexión.

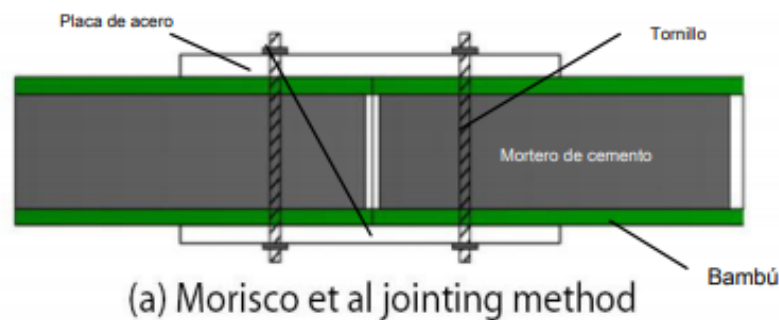


Figura 11.9: Desarrollo del método de conexión

Fuente: Adaptado de [66]

Se encontró un tipo de conexión muy particular llamada conexión atornillada de un compuesto de bambú Viga en forma de I, que aunque no está compuesta por el tallo de bambú como lo es tradicionalmente con las anteriores conexiones mencionadas, en este caso el bambú pasa por un proceso de laminado prensado y moldeado para conformar una viga que se utilizará en estructuras comunes. Este proceso consiste en el corte de tiras de bambú que miden entre 2 y 2.5 m de longitud que luego es sometido a una temperatura de 150°C bajo una presión de 0.4 MPa que esteriliza el material, posteriormente se lleva a un horno para secar el material hasta alcanzar un contenido de humedad del 14 %. Para poder ser sometido a estas condiciones es necesario que el bambú tenga una edad de 4 a 5 años, obteniendo como resultado listones de diferentes medidas que conformaran una viga tipo I que luego será unida mediante un ángulo de acero A36 con una resistencia a la tracción de 250 MPa y pernos de 10 mm diámetro. Para las bridas superiores e inferiores, la placa para la banda tenía 2440 mm de largo, 270 mm de ancho y 15 mm de espesor las

medidas fueron de 2440 mm de largo, 200 mm de ancho y 15 mm de espesor. La resistencia a la tracción paralela al grano fue de 90 MPa y la resistencia a la compresión paralela al grano fue de 77 MPa, obteniendo como resultado los siguientes datos:

Deflexión = 3.98 mm

Estrés = 178.23 MPa.

Esfuerzo de fricción = 140.62 MPa

Distancia de deslizamiento = 0.523 mm

Penetración = 0.14 mm

Aunque es un material final que proporciona propiedades mecánicas para su utilidad, la desventaja se basa en que no se está al alcance de cualquier población, ya que es un material que consiste de una fabricación estandarizada, por lo que se pudo determinar como un material para ser comercializado, dado que en el artículo investigado se hace referencia a la sustitución de materiales como el concreto, resaltando el impacto positivo en el medio ambiente al utilizar un recurso natural en la construcción de estructuras comunes [66].

Se analizó otro tipo de conexión en estructura de guadua. Conexión en lámina de guadua atornillada, esta vez la conexión se da para un tipo de estructura más frágil por así decirlo, ya que no está diseñada para estructuras de construcción que soporten cargas superiores a 12000 N, ya que en esta ocasión el tallo de la guadua es cortado de forma longitudinal obteniendo una pieza curva a lo largo del elemento con el fin de proporcionar una mayor área de contacto en la unión, de acuerdo a la investigación, este diseño de conexión está orientado para estructuras ligeras para soportar pisos y techos de casas únicamente, en la siguiente figura se ilustra el tipo de estructura al que se orienta [67].

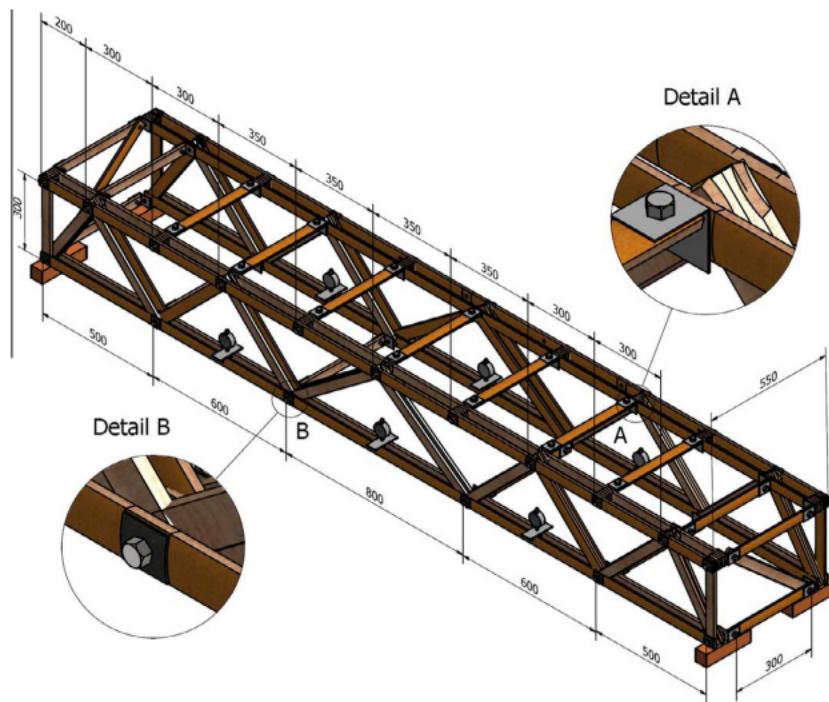


Figura 11.10: Cerca analizada

Fuente: Adaptado de [67]

Para estas estructuras las láminas son cortadas a una medida de 0.2 m de longitud y 0.04 m de ancho, los pernos que unen el material son de 3/8". Con estas medidas, se obtiene una mayor resistencia de la estructura.

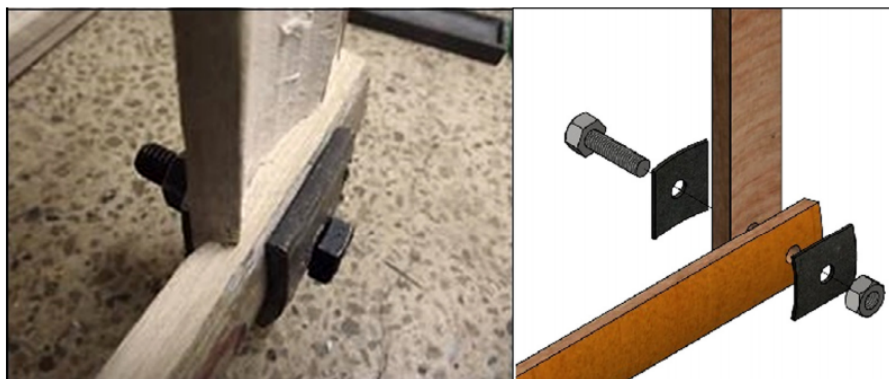


Figura 11.11: Conexión lamina de guadua atornillada

Fuente: Adaptado de [67]

Para armaduras como la cerca se analizó otro tipo de conexión combinados de bambú y listones de culmo que consta de la unión entre listones de guadua y un tallo o culmo completo, el cual se une mediante abrazaderas de acero atornilladas para brindar una mejor resistencia a la ruptura longitudinal, esto con el fin de implementarse en estructuras para soportar techos o cubiertas y pisos. Esta configuración de

las muestras a ensayar eran las de cerchas destinadas a soportar el piso de casas prefabricadas de bajo costo, que se basa en módulos de $3\text{m} \times 3\text{m}$. El estándar de construcción colombiano. Sometiéndose a cargas vivas y muertas de 1766 N y 1373 N respectivamente, considerando una carga de servicio de 3139 N, sin embargo, la armadura fue sometida a una carga de servicio de 13754 N en donde no el diseño no mostro ningún tipo de falla. De acuerdo a la investigación las uniones utilizadas en las cerchas no están incluidas en la norma colombiana NSR-10, por tanto, la resistencia de estas uniones se basó en ensayos preliminares, en el que se obtuvieron los siguientes resultados:

Contenido medio de humedad = 16,9 %

Módulo circunferencial = 681.1 MPa

Resistencia a la tracción circunferencial = 8,0 MPa

Para los listones los resultados fueron los siguientes:

Módulo axial = 8787.2 MPa

Módulo de cizallamiento circunferencial-axial = 747.8 MPa

Determinando una calidad del material considerándose representativo para su uso en este tipo de implementación como lo es estructuras para soportar techos, cubiertas y pisos. El acero utilizado en las abrazaderas es A36 que conectan los listones al colmo completo con pernos de grado 2 con diámetros de 9.5 mm con arandelas en cada extremo de los pernos para asegurar una mayor área de contacto en la conexión. En la siguiente figura, se ilustra el modelo de la conexión y la armadura compuesta.

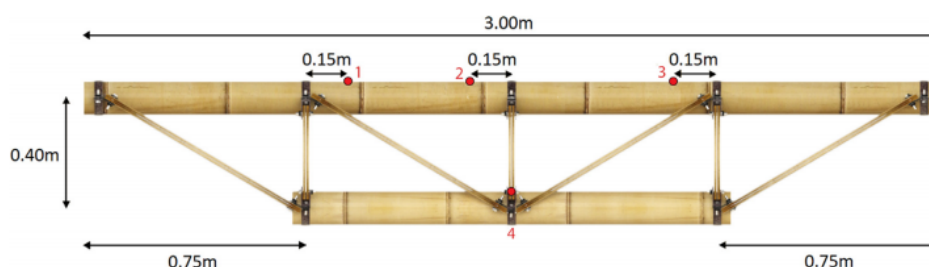


Figura 11.12: Conexión y armadura compuesta

Fuente: Adaptado de [68]

Se puede resaltar que para cada tipo de conexión estudiado, en su mayoría, la edad de la guadua se encuentra entre los 4 y los 5 años, por lo que se considera que en este rango de edad es donde el material brinda una mayor riqueza en sus propiedades mecánicas de acuerdo a los estudios realizados en cada uno de estos artículos de investigación [68].

Un tipo de conexión también analizado es el de unión atornillada, un tipo de conexión empernada, en esta ocasión el elemento o los elementos a unir, se componen en dos piezas, en la estructura la viga se compone por dos culmos o tallos que se sujetan a una placa de metal de manera atornillada, una pieza por cada lado de

la placa, esta conexión tienen una particularidad, y es que está diseñada exclusivamente para estructuras de pasarela, o puente peatonal, se analizó que los culmos que componen este tipo de estructura se comprenden de un diámetro de 50 mm en promedio. Entre los ensayos aplicados a este material se tiene que la tracción se refieren a probetas con y sin nudos, la presencia de nudos reduce significativamente la resistencia máxima a la tracción del material. Por lo tanto, las comprobaciones de diseño se basan en la resistencia a la tracción de las probetas con nudos, ya que es la más crítica. Para el diseño de esta estructura se consideró un factor de seguridad que va desde los 1.8 a los 2.4, determinándose al final un factor de seguridad de 2.25. Según la investigación se desarrolla un modelo numérico utilizando en el software de análisis estructural SAP2000. Los elementos del marco y las conexiones de los pasadores simulan los miembros de la armadura y las juntas de la estructura obteniendo resultados positivos. Se procede a la construcción de un prototipo real a gran escala que se somete a pruebas, en el que se obtiene un resultado de capacidad de carga de 14 KN. Para este caso, la investigación de la conexión está basada en la capacidad de la carga que soporta la estructura. Este se centra en el diseño de una estructura específica para el cual se implementó este diseño de conexión, considerándose viable para su aplicación, además de todo esto, hay una ventaja relacionada con la facilidad que tiene este diseño en ser utilizado, ya que no depende de mecanismos para su fabricación y los materiales a utilizar se encuentran al alcance de cualquier población. A continuación, se ilustran mediante imágenes, la estructura y el tipo de conexión utilizado [46].

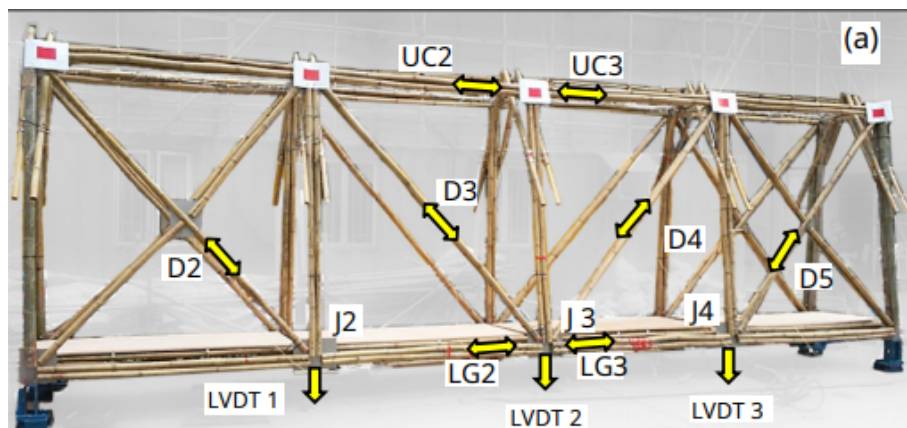


Figura 11.13: Unión atornillada en cercha

Fuente: Adaptado de [46]



Figura 11.14: Unión atornillada

Fuente: Adaptado de [46]

Se encontró otro tipo de conexión estructural con clavijas en bambú laminado y madera que depende primero de un largo proceso en el material, teniendo en cuenta que lo presente abarca todo tipo de análisis con respecto a la guadua, como una derivación del material. Para este tipo de conexión, la guadua es sometida a un proceso de laminado, para el cual el espesor es de 19 mm. De acuerdo a los estudios realizados al material se determinaron los siguientes resultados, teniendo en cuenta dos tipos de material con características diferentes que son bambú blanqueado y bambú caramelizado. Las tiras de bambú blanqueadas se sumergen en un baño de solución de peróxido de hidrógeno a 70°C y 80°C; el bambú caramelizado se trata con vapor a 120 mi 130°C. Para el bambú blanqueado:

Resistencia a la tracción paralela a la fibra = 124 MPa

Resistencia a la tracción perpendicular al grano = 3.14 MPa

Resistencia a la tracción paralela a la fibra = 90 MPa

Resistencia a la tracción perpendicular al grano = 1.98 MPa

Sin duda, el bambo blanqueado comprende de mejores propiedades para el diseño ya que proporciona propiedades mecánicas más favorables, pero a pesar de los buenos resultados en los estudios del material, no son uniones que se pueden tener en cuenta para las estructuras comunes en que se llevan a cabo en Colombia, teniendo en cuenta que el propósito del presente documento pretende analizar diseños de conexiones que estén al alcance de cualquier población de acuerdo al tipo de estructura que se desee emplear y para lo cual se vea reflejado una facilidad de adquisición de los materiales y equipos a utilizar. Para este caso, este diseño de conexión está diseñada para un tipo de estructura en el que el material o la guadua pasa primero por un proceso industrializado, lo que quiere decir, que el material tendrá un costo adicional y no es fácil de adquirir por la oferta y demanda que esta proporcionaría en el mercado [69].

Se analizó un diseño de conexión llamado conexión tipo clavija atornillada, para el cual los diámetros de los pernos oscilan entre 8 mm y 12 mm. Este diseño de conexión tiene una particularidad por el tipo de guadua que se utilizó para el estudio aplicado de acuerdo a la investigación, esto debido al país donde o región donde se produce, para este caso, su producción se da en china; referente al BAMBÚ MOSO, el cual es un tipo de bambú que se produce con abundancia en China. Este tipo de bambú brinda alta resistencia en sus propiedades mecánicas, como lo es su resistencia a la compresión, que alcanza los 70 MPa, por lo que se considera un material útil para ser empleado en estructuras comunes en dicho país además que cuenta con un ligero crecimiento y desarrollo y es utilizado sin problema a la edad de 3 años, a diferencia de la guadua *Angustifolia* en Colombia que es utilizada a la edad de los 4 y 5 años. De acuerdo al análisis en la investigación de este tipo de conexión, se realizó una comparación entre un modelo experimental y numérico de la capacidad de carga.

Se evaluaron las propiedades del material mediante pruebas de tracción paralela a la fibra y prueba de compresión del culmo paralelo al grano, en el que muestra que las resistencias promedio a la tracción y a la compresión paralelas a la fibra son 147.7 MPa y 48.2 MPa, respectivamente con un módulo de elasticidad de 910 MPa. De acuerdo a estudios en la investigación, para este diseño de conexión se aplicó una carga estática utilizando una máquina de prueba MTS-SANS con una capacidad de carga máxima de 100 KN. La carga se aplicó a través del modo de desplazamiento controlado y la prueba se terminó cuando la carga se redujo en un 15 % de la carga última o cuando fue significativo, obteniendo resultados positivos en lo que se refiere a los daños en las conexiones.

Una desventaja a considerar en este diseño de conexión es el tipo de guadua utilizada, ya que en la revisión de literatura que se realizó, no se encontró una aplicación de este diseño de conexión en Colombia, por lo cual para ser implementado con la guadua *Angustifolia*, es necesario aplicar los mismos estudios para determinar el comportamiento y poder contar con la garantía del comportamiento de este diseño de conexión en las estructuras que se desee implementar [70].

En la siguiente figura, se ilustra el modelo de la conexión analizada.



Figura 11.15: Conexiones con clavijas en bambú laminado y madera

Fuente: Adaptado de [70]

Otro tipo de conexión analizado fue el estudio del comportamiento estructural de la guadua en uniones atornilladas en forma de T Y Diagonal de diferentes modelos, dentro los cuales se encuentra un diseño de conexión en forma de T, en el que el elemento falla al recibir carga perpendicular, el elemento se comprime hasta fallar, se encuentra otro diseño donde la conexión forma un ángulo de 45° , en donde la unión la diagonal conectada al cordón inferior de la armadura se encuentra solicitada a tensión por lo que el perno utilizado para unir ambos elementos, produce un corte paralelo a la fibra. Para este caso, en el artículo investigado no se evidencia que carga se le aplica a estos tipos de conexiones hasta llevarla a la falla, por lo cual se puede recomendar mediante este documento, que este es un diseño de conexión que no se recomienda para tipos de estructuras que requieran soportar cargas consideradas; para lo que sí se puede recomendar, es para utilizarse en estructuras que no requieran cargas excesivas, como por ejemplo en estructuras de pasamanos en escaleras o barandas de balcones, en donde la guadua no se vea afectada por la carga que se vaya a soportar. A continuación, se muestra en imagen los modelos de conexión analizados [2].

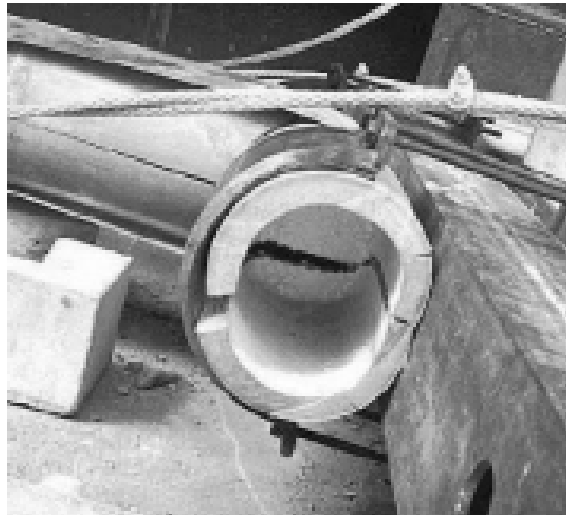


Figura 11.16: Unión atornillada tipo T

Fuente: Adaptado de [2]



Figura 11.17: Unión en ángulo

Fuente: Adaptado de [2]

En otro estudio se encontraron otros tipos de conexiones que se nombra a continuación:

Junta amarre

El cual cuenta con una gran capacidad de ajuste en la estructura y es económica, puesto que no se requiere de materiales ni equipos costosos para su implementación, esto se considera como una gran ventaja en cuanto a su adquisición, pero tiene una desventaja, y es que la construcción de los amarres es deficiente, además la construcción de estas conexiones es demorada y el funcionamiento se ve afectada por la operación humana, además de esto, debido al tiempo de uso, las cuerdas son propensas a romperse debido a los cambios de temperaturas a los que se someten en largos

periodos. Para estas conexiones, según el artículo investigado, se utilizaban diferentes tipos de cuerdas según la región con diferente tipo de clima; para clima cálido utilizaban cuerda de palma y para climas secos se utilizaban cuerda de cáñamo. Este tipo de conexión se implementó con el fin de evitar cortar o perforar la guadua con el fin de no debilitar la estructura. El uso de este tipo de conexión según la revisión de literatura es en estructuras de vivienda residencial, pero no se especifica el peso que estas pueden soportar. A continuación, se ilustra en una imagen el tipo de conexión analizado:



Figura 11.18: Junta amarre

Fuente: Adaptado de [1]

Unión de elementos de acero y placa de acero

El cual se conforma por una tubería de acero en forma de T, en donde es insertada la guadua y luego es atornillada para fijar la conexión entre los dos componentes, para este caso las dimensiones de los diámetros de la tubería son fijas, por lo que se necesita moldear la guadua para poderse insertar, considerándose esto como una desventaja. Se considera recomendable para el uso de este tipo de conexión, utilizar guadua que calce adecuadamente en el componente de acero sin necesidad de tener que moldear el material, puesto que esto lo que provocaría es un debilitamiento en la estructura y no es recomendable con una alta eficiencia su uso. Otra recomendación sería utilizar diámetros en la tubería basados en un promedio de del diámetro de la guadua a utilizar según su edad, que en este caso según a lo largo de la investigación la edad de la guadua más utilizada y en la que el material brinda mejores propiedades mecánicas, oscila entre los 4 y los 5 años de edad. De acuerdo al artículo investigado en donde se analizó este tipo de conexión, no se evidencia una carga que pueda soportar este tipo de conexión, ni el tipo de estructura en el que puede ser utilizado. En la siguiente imagen se ilustra el tipo de conexión analizado:



Figura 11.19: Unión de placa de acero

Fuente: Adaptado de [\[1\]](#)

Capítulo 12

Conclusiones y recomendaciones

En esta investigación se pudieron identificar al menos 5 tipos de diseños de conexiones de gran resistencia, que son, diseño de conexión tallo-clavija, diseño de conexión empernada, diseño de conexión unión con abrazadera de acero, diseño de conexión unión reforzada con fibra y diseño de conexión tipo clavija atornillada, que se pueden utilizar en edificaciones de hasta dos pisos, ya que son los diseños con mejor desempeño en cuanto a resistencia a la compresión, que varía entre los 50 y los 90 MPa, cumpliendo con el límite de la norma vigente.

A pesar de que en los últimos años se ha venido estudiando con más fuerza las conexiones en guadua, se evidencia que muchos de los diseños propuestos no son del todo eficaces ya que presentan deficiencias en cuanto a cargas y eficiencia en el uso de las construcciones.

Es de vital importancia realizar estudios sobre el contenido de humedad de la guadua que se vaya a utilizar como material para la conexión a desarrollar, ya que un exceso de contenido de humedad afecta la resistencia ante las cargas y el esfuerzo en el elemento estructural, en este caso en la unión.

Se recomienda considerar una edad de la guadua que oscile entre los 4 y los 5 años para ser utilizada, ya que según estudios, en este rango de edad, la guadua proporciona mejores propiedades mecánicas en cuanto a la resistencia del material, lo cual es de gran ventaja a la hora de desarrollar cualquier tipo de diseño de conexión.

Bibliografía

- [1] C. Hong, H. Li, R. Lorenzo, G. Wu, I. Corbi, O. Corbi, Z. Xiong, D. Yang, and H. Zhang, “Review on connections for original bamboo structures,” *Journal of Renewable Materials*, vol. 7, no. 8, pp. 714–730, 2019.
- [2] C. Takeuchi, “Comportamiento estructural de la guadua angustifolia . Uniones en guadua Structural behavior of the guadua angustifolia . Connections in Guadua,” no. 55, pp. 3–7, 2004.
- [3] D. Jaramillo and A. Sanclemente, *Estudio de uniones en guadua con inclinación entre elementos*. PhD thesis, 2003.
- [4] G.ín@ and H. Sousa Weich, “La Guadua Un Sistema Innovador Para La Construcción De Vivienda En Anapoima-Cundinamarca,” *Universidad de La Salle*, p. 61, 2008.
- [5] J. García, *Definicion de areas optimas de calidad de guadua (guadua angustifolia kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado*. 2004.
- [6] Ecohabitar, “La guadua: una maravilla natural de grandes bondades,” 2019.
- [7] X. Londoño, “El bambú en Colombia,” vol. 11, no. 3, pp. 143–154, 2011.
- [8] J. Arbelaez and J. Correal, “Influence of age and height position on colombian ”Guadua Angustifolia” bamboo mechanical properties,” 2010.
- [9] Bambusa, “Características del bambu,” 2018.
- [10] M. Çendales, “DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MÉCANICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH ORIGINARIA DE ARMENIA QUINDIO,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [11] K. Seethalakshmi, “BAMBOOS OF INDIA,” 1998.
- [12] B. Felicjaniak and K. Kosińska, “LA GUADUA ANGUSTIFOLIA,” *Przegląd Włokienniczy*, vol. 59, no. 12, 2005.
- [13] Elvira DeNavas, “APLICACIONES ESTRUCTURALES DE LA GUADUA (Guadua angustifolia Kunth). PROYECTO DE ESTRUCTURA MODULAR MULTIFUNCIONAL EN COLOMBIA,” p. 271, 2011.

- [14] X. Londoño, G. C. Camayo, N. Riaño, and Y. López, “Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms,” *Bamboo Science and Culture*, vol. 16, no. 1, pp. 18–31, 2002.
- [15] L. Alfredo, C. Moreno, W. Geovany, and H. Rojas, “Caracterización de la *Guadua Angustifolia* Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10 The *Guadua Angustifolia* Kunth Grown in Miraflores (Boyacá)’ s Characterization , According to the NSR-10,” vol. 21, no. 33, pp. 53–71, 2012.
- [16] P. J. R. Francis E. Brink, “BAMBOO REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION,” 1996.
- [17] K. Ghavami, “Ultimate load behaviour of bamboo-reinforced lightweight concrete beams,” 1995.
- [18] A. Shigeyasu, I. Yoshinobu, M. Tamotsu, N. Yukito, and Hiroyuki Shimizu, “Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo,” 1997.
- [19] Y. Tommy, H.ZCui, and H.CLeung, “The effect of fiber density on strength capacity of bamboo,” 2004.
- [20] A. Shigeyasu and U. Sun, “Fracture properties of bamboo,” 2001.
- [21] J. Nolivos, *ESTUDIO DE CONEXIONES ENTRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CAÑA GUADUA SOMETIDOS A CARGA AXIAL*. PhD thesis, 2010.
- [22] J. V. Garzon caicedo, “Optimización de estructuras en guadua,” 1996.
- [23] C. Muños and H. Rodriguez, “Propuestas de uniones mecanicas para estructuras de guadua,” 1997.
- [24] S. Clavijo and J. Trujillo, “Evaluación de unones a tracción en guadua,” 2000.
- [25] E. Prieto and J. Pineda, “Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexion,” 2001.
- [26] J. Martín and L. Mateus, “Determinación de la resistencia a la compresion paralela a la fibra de la guadua,” 1981.
- [27] C. Takeuchi, G. Granados, F. Lamus, and J. Lozano, “Metodología de diseño de estructuras en *Guadua Angustifolia* como material estructural por el método de esfuerzos admisibles,” *Revista Educación en Ingeniería*, no. August 2008, pp. 66–75, 2011.
- [28] Asociación colombiana de ingeniería sismica (AIS), “Título G-Estructuras de madera y estructuras de guadua. NSR-10,” *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*, p. 158, 2010.
- [29] A. Agudelo and O. Diaz, *RESINA POLIÉSTER (RP) Y FIBRAS NATURALES EN UNA CONEXIÓN DE GUADUA ANGUSTIFOLIA SOMETIDAS AL APLASTAMIENTO TRANSVERSAL*. PhD thesis, 2018.

- [30] Sencico (servicio nacional de construcción de estructuras con bambú), “Manual de construcción de estructuras en bambú,” 2014.
- [31] J. J. A. Janssen, “Technical Report 20: Designing and building with bamboo,” 2000.
- [32] M. A. d. R. Pereira, “Bambu Project: Mechanical Characteristics of the Glued Laminated Bamboo,” *VIII World Bamboo Congress Proceedings*, vol. 8, pp. 135–150, 2009.
- [33] Dunkelberg.k, “Bamboo as building material,” 1985.
- [34] D. Farrelly, “The Book of Bamboo,” *San Fransisco: Sierra Club Books.*, 1984.
- [35] J. Janssen, “Building with Bamboo,” *Warwickshire: ITDG Publishing.*, 2000.
- [36] K. Disén and P. L. Clouston, “Building with bamboo: A review of culm connection technology,” *Journal of Green Building*, vol. 8, no. 4, pp. 83–93, 2013.
- [37] D. Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S., Sulisty, “The study of wooden clamps for strengthening of connection on bamboo truss structure.,” *Jurnal Teknologi*, 72(5), 97-103., 2015.
- [38] S. Oka, G., Triwiyono, A., Awaludin, A., Siswosukarto, “Experimental and theoretical investigation of bolted bamboo joints without void filled material.,” *Applied Mechanics and Materials*, 776, 59-65., 2015.
- [39] Y. M. Hu, H., Yang, J., Wang, F. L., Zhang, “Mechanical properties of bolted joints in prefabricated round bamboo,” 2018.
- [40] D. Trujillo, D., Malkowska, “Empirically derived connection design properties for Guadua Bamboo.,” *Construction and Building Materials*, 163, 9-20. 43., 2018.
- [41] Chiangmai Life Architect (CLA)., “Panyaden international school sports hall/bamboo architecture,” 2018.
- [42] V. R. Sonar, I. P., Siddhaye, “Theoretical and experimental investigation on single and double bolted bamboo joint under axial tension.,” *Journal of Structural Engineering*, 36(3)., 2009.
- [43] M. Seixas, L. E. Moreira, J. Bina, and J. L. M. Ripper, “Design and analysis of a self-supporting bamboo roof structure with flexible connections,” *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, vol. 60, no. 3, pp. 221–231, 2019.
- [44] A. M. C. Laverde, “INBAR News. INBAR Pavilion Architect,” 2019.
- [45] R. Moran and J. J. García, “Bamboo joints with steel clamps capable of transmitting moment,” *Construction and Building Materials*, vol. 216, pp. 249–260, 2019.

- [46] T. S. Paraskeva, G. Grigoropoulos, and E. G. Dimitrakopoulos, "Design and experimental verification of easily constructible bamboo footbridges for rural areas," *Engineering Structures*, vol. 143, pp. 540–548, 2017.
- [47] R. Romo and J. Carlos, "El bambú como material de construcción," *Conciencia Tecnológica*, no. 31, pp. 67–69, 2006.
- [48] G. Bamboo, "que-es-la-guadua-angustifolia," 2020.
- [49] Espazoabalar, "Estructuras," 2020.
- [50] Corpoica, "Identificación del cultivo," 2012.
- [51] Skyciv, "Conexión estructural," 2020.
- [52] D. Niño and D. Vargas, "DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FUERZA A TENSIÓN EN LAS UNIONES DE ESTRUCTURAS DONDE EL ELEMENTO RESISTENTE PRINCIPAL ES EL BAMBÚ GUADUA (ANGUSTIFOLIA KUNTH), UTILIZANDO POLIPROPILENO DE ALTA RESISTENCIA (PPR) COMO MATERIAL DE RELLENO.," 2017.
- [53] L.ómez Fonseca@ and W.íaz Barrera@, "Unión metálica para estructuras en guadua," 2017.
- [54] S. A. Pardo, F. L. Báez, and N. T. Castellanos, "Connections between a column and its foundation for guadua angustifolia structures under lateral loads," *Key Engineering Materials*, vol. 668, pp. 227–237, 2016.
- [55] R. Jockwer, P. Wiehle, P. Palma, M. Klippel, A. Wapp, A. Frangi, and D. Hebel, "Structural behaviour and design of timber connections with dowels and slotted-in plates made of bamboo composite," *WCTE 2018 - World Conference on Timber Engineering*, no. April 2020, 2018.
- [56] X. Luo, H. Ren, and Y. Zhong, "Experimental and theoretical study on bonding properties between steel bar and bamboo scrimber," *Journal of Renewable Materials*, vol. 8, no. 7, pp. 773–787, 2020.
- [57] J. Li and A. Zhou, "Mechanical behavior of laminated bamboo lumber dowel-type connection," *Advances in Structural Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 65–73, 2020.
- [58] C. Hong, H. Li, Z. Xiong, R. Lorenzo, I. Corbi, O. Corbi, D. Wei, C. Yuan, D. Yang, and H. Zhang, "Review of connections for engineered bamboo structures," vol. 30, no. November 2019, 2020.
- [59] D. Y. La, F. Dialnet, C. D. E. Dialnet, C. Del, A. A. Dialnet, R. D. E. Usuario, L. A. Página, D. E. A. En, and T. C. O. N. L. O. S. Resultados, "guía DIALNET," 2020.
- [60] B. Sciences, C. Science, P. Sciences, and E. Science, "SCIENCEDIRECT Guía de consulta," pp. 1–2, 2004.

- [61] C. Lluís, “PLATAFORMAS DIGITALES EDITORIALES: TAYLOR AND FRANCIS ONLINE,” 2017.
- [62] P. Luna, A. M. Olarte, and C. Takeuchi, “Análisis teórico experimental de conexiones en elementos estructurales de bambuguadua laminado pegado prensado, para un proyecto de vivienda,” vol. 81, no. 184, pp. 110–114, 2014.
- [63] J. T. J. Salamanca, L. Acosta, F. Higuera, N. Pamplona, “Evaluación del comportamiento mecánico de uniones de guadua *Angustifolia Kunth* (GAK) - polietileno de baja densidad (PEBD).pdf,” 2020.
- [64] B. Lefevre, R. West, P. O’Reilly, and D. Taylor, “A new method for joining bamboo culms,” *Engineering Structures*, vol. 190, no. April, pp. 1–8, 2019.
- [65] F. A. Lamus Báez, M. A. Plazas Bernal, and P. Luna Tamayo, “Resistencia de una conexión empernada solicitada a cizalladura doble paralela a la fibra para estructuras de guadua angustifolia ; Bolted join strength under parallel to grain double shear in guadua angustifolia structures,” vol. 19, no. 43, pp. 52–62, 2015.
- [66] H. Castaneda and S. Bjarnadottir, “Analysis of the Bolted Connection of a Bamboo Composite I-Shaped Beam Subjected to Bending,” *Procedia Engineering*, vol. 145, no. 860, pp. 796–803, 2016.
- [67] L. Villegas, R. Morán, and J. J. García, “A new joint to assemble light structures of bamboo slats,” *Construction and Building Materials*, vol. 98, pp. 61–68, 2015.
- [68] L. Villegas, R. Morán, and J. J. García, “Combined culm-slat Guadua bamboo trusses,” *Engineering Structures*, vol. 184, no. February 2018, pp. 495–504, 2019.
- [69] T. Reynolds, B. Sharma, K. Harries, and M. Ramage, “Dowelled structural connections in laminated bamboo and timber,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 90, pp. 232–240, 2016.
- [70] F. Wang and J. Yang, “Experimental and numerical investigations on load-carrying capacity of dowel-type bolted bamboo joints,” *Engineering Structures*, vol. 209, no. November 2019, p. 109952, 2020.